



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA (PPGECIMA)

EVERTON SANTOS OLIVEIRA

FENÔMENOS ELÉTRICOS E ESTRUTURA DA MATÉRIA: TECENDO
RELAÇÕES ENTRE OS ESTUDOS DE MICHAEL FARADAY E AS
CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES

SÃO CRISTOVÃO

2018

EVERTON SANTOS OLIVEIRA

**FENÔMENOS ELÉTRICOS E ESTRUTURA DA MATÉRIA: TECENDO RELAÇÕES
ENTRE OS ESTUDOS DE MICHAEL FARADAY E AS CONCEPÇÕES DOS
ESTUDANTES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Matemática, da Universidade Federal de Sergipe, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: currículo, didáticas e métodos de ensino das ciências naturais e matemática.

Orientador: Prof. Dr. Erivanildo Lopes da Silva

SÃO CRISTOVÃO

2018

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Oliveira, Everton Santos

O48f Fenômenos elétricos e estrutura da matéria: tecendo relações entre os estudos de Michael Faraday e as concepções dos estudantes / Everton Santos Oliveira ; orientador Erivanildo Lopes da Silva. - São Cristóvão, 2018.

103 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. (Ensino de ciências). 2. Faraday, efeito de. 3. Eletroquímica. I. Silva, Erivanildo Lopes da orient. II. Título.

CDU 377.8:53.082.75



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA - PPGEICIMA



FENÔMENOS ELÉTRICOS E ESTRUTURA DA MATÉRIA: TECENDO
RELAÇÕES ENTRE OS ESTUDOS DE MICHAEL FARADAY E AS
CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM
19 DE JANEIRO DE 2018

Erivanildo Lopes da Silva

PROF. DR. ERIVANILDO LOPES DA SILVA

Marcos Antônio Pinto Ribeiro

PROF. DR. MARCOS ANTÔNIO PINTO RIBEIRO

Edson José Wartha

PROF. DR. EDSON JOSÉ WARTHA

Dedico o desenvolvimento desta pesquisa à minha família, pelo apoio e incentivo constante para que nunca desistisse de alcançar meus objetivos acadêmicos e pessoais. Vocês foram o porto seguro e a força necessária.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Erivanildo Lopes da Silva, pela confiança, incentivo, por compartilhar seu conhecimento e pelas oportunidades lançadas durante todo este tempo, fatores que contribuíram significativamente em minha trajetória acadêmica. E não poderia deixar de mencionar o grande amigo que foi durante todo esse tempo, desde a graduação e durante o desenvolvimento do mestrado.

Aos meus pais, irmãos e a minha namorada, pessoas que nunca deixaram de me apoiar, mesmo durante as minhas ausências em momentos importantes ou pela falta de tempo para como eles. Sou feliz e grato porque fui abençoado com um conjunto de pessoas extraordinárias e únicas, com quem posso compartilhar a vida e conquistas.

Aos meus colegas acadêmicos, pelos questionamentos propostos e pelos debates desenvolvidos acerca deste trabalho. Em especial a Fernando, Joedna, Ortência e Suelaine, pessoas fantásticas que tive o prazer de conviver durante esses dois anos de mestrado no grupo de pesquisa GEEQUI.

E não posso deixar de lembrar da Profa. Nirly, pelos poucos mas frutíferos momentos de conversas e críticas a este estudo. Considerando que a amizade é um dos grandes ingredientes da vida, posso dizer que minha vida tem sido agraciada com grandes risadas.

A CAPES e a FAPITEC/SE pelo apoio financeiro, fator decisivo para o desenvolvimento desta pesquisa e que contribuiu significativamente para minha formação na medida em que financiou todas as despesas necessárias ao desenvolvimento desta pesquisa, assim como têm financiado tantos outros mestres nas mais diversas áreas. Favorecendo, desse modo, a capacitação docente e o incentivo à pesquisa.

RESUMO

As reformas curriculares ocorridas nas últimas décadas têm promovido mudanças nos objetivos e abordagens do Ensino de Ciências; nesse contexto, surge a defesa da inserção da História da Ciência através da Abordagem Contextual proposta pelo professor Michael R. Matthews, ou seja, a apresentação do contexto sócio-histórico que permeia o conhecimento científico em conjunto com a abordagem dos conceitos. Como objetivo propõe-se investigar como os constructos teóricos de Michael Faraday podem contribuir no âmbito do Ensino de Ciências, através da Abordagem Contextual, para compreensões cientificamente mais estruturadas quanto à Natureza Elétrica da Matéria, tendo como referência o levantamento das concepções dos estudantes expressas na literatura. A hipótese levantada é que a relação entre fenômenos elétricos e estrutura da matéria já pode ser pensada à luz dos constructos de Michael Faraday, mostrando a necessidade de se entender como as “partículas” se comportavam na eletrólise realizada por esse cientista. A coleta dos dados foi realizada através de Pesquisa Bibliográfica, que consistiu na elaboração e esboço dos procedimentos metodológicos que guiaram a busca e o detalhamento das fontes; para o tratamento dos dados, utilizou-se a Análise de Conteúdo, que consiste na exposição e interpretação do conteúdo de toda classe de documentos e textos a partir de descrições sistemáticas e inferências. As categorias estabelecidas *a posteriori* foram construídas em concordância com as concepções dos estudantes obtidas através da literatura e com a proposta da Abordagem Contextual, sendo elas: Mecanismos que teorizam a constituição da matéria; Composição da matéria e sua relação com a eletricidade, e Influências externas na produção do conhecimento científico. No que se refere às concepções dos estudantes expressas na literatura, em aspectos gerais os resultados apontam que os estudantes propõem modelos atômicos sem considerarem seu contexto de aplicação, não reconhecem a perda/transferência de elétrons como um modelo possível, possuem dificuldades para explicar a natureza e mobilidade dos íons, assim como relacionar a mobilidade de íons à formação da corrente elétrica. Os resultados, portanto, permitem inferir que as concepções apresentadas por estudantes nos níveis médio e universitário apresentam aproximações com as ideias postas em debate durante o período sócio-histórico de Michael Faraday. Com efeito, os elementos oriundos deste estudo, os quais estão pautados na tríade Ensino-Historiografia-Abordagem Contextual, são passíveis de inserção na abordagem de sala de aula e podem potencializar a compreensão conceitual, assim como a dinâmica do empreendimento científico.

PALAVRAS-CHAVE: Abordagem Contextual, Concepções em Eletroquímica, Michael Faraday.

ABSTRACT

The curricular reforms have occurred in the last decades have been promoting changes in the objectives and approaches of Science Teaching; in this context, there is the defense of the insertion of the History of Science through the Contextual Approach proposed by Professor Michael R. Matthews, that is, the presentation of the socio-historical context that permeates the scientific knowledge together with the approach of concepts. The objective is to investigate how the theoretical constructs of Michael Faraday can contribute in the scope of Science Teaching, through the Contextual Approach, for scientifically more structured understandings regarding the Electrical Nature of Matter, having as reference the survey of students' conceptions expressed in the literature. The hypothesis raised is that the relation between electrical phenomena and the structure of matter can already be thought in the light of the constructs of Michael Faraday, showing the need to understand how the "particles" behaved in the electrolysis performed by this scientist. Data collection was performed by bibliographical research, which consisted in the elaboration and outline of procedures that guided the search and details of sources; for the treatment of the data was used the Content Analysis, which consists in the exhibition and interpretation of the content of all class of documents and texts from systematic descriptions and inferences. The categories established a priori were constructed in agreement with the students' conceptions obtained through the literature and with the proposal of the Contextual Approach, like: Mechanisms that theorize the constitution of the matter; Composition of matter and its relation with electricity and; External influences on the production of scientific knowledge. In terms of students' conceptions expressed in the literature, in general aspects the results show that students propose atomic models without considering their application context, do not recognize the loss / transfer of electrons as a possible model, have difficulties explaining the nature and mobility of the ions, as well as to relate the mobility of ions to the formation of the electric current. The results allow to infer that the conceptions presented by students in the high school and university present approximations with the ideas put forward during the socio-historical period of Michael Faraday. The elements derived from this study, which are based on the Teaching-Historiography-Contextual Approach triad, are insertable in the classroom approach and can enhance the conceptual understanding, as well as the dynamics of the scientific enterprise.

KEYWORDS: Contextual Approach, Conceptions in Electrochemistry, Michael Faraday.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Processo de coleta e codificação do material obtido através da Pesquisa Bibliográfica	39
FIGURA 2 – Processo de elaboração das categorias	44
FIGURA 3 – Síntese dos elementos sócio-histórico intrínsecos ao contexto de Faraday	46
FIGURA 4 – Panorama das discussões sobre modelos da matéria	53
FIGURA 5 – Painel das discussões sobre a relação entre matéria e eletricidade	61
FIGURA 6 – Modelo esperado que os estudantes apresentem quando solicitados a descrever um sistema eletroquímico: uma integração entre a representação macroscópica, microscópica e representacional	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Fontes consultadas e respectivos artigos extraídos de cada uma	36
TABELA 2 – Pesquisas consultadas através do BDTD e respectivos trabalhos identificados na revisão realizada por cada autor	42
TABELA 3 – Possíveis aproximações entre as categorias construídas com base no levantamento das concepções dos estudantes e os elementos oriundas das categorias contextuais	74

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC – Abordagem Contextual

CA – Concepções Alternativas

FQ – Filosofia Química

HC – História da Ciência

NdC – Natureza da Ciência

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 VISÕES SOBRE HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA ENSINAR CIÊNCIA.....	17
1.2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ABORDAGEM CONTEXTUAL: PERSPECTIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA VISÃO AMPLA DA CIÊNCIA	21
1.3 FILOSOFIA DA QUÍMICA: UM CAMPO EMERGENTE NO ENSINO DE QUÍMICA.....	25
1.4 ABORDAGEM CONTEXTUAL COMO ALTERNATIVA PARA APROXIMAR AS CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO.....	27
2. ROTA METODOLÓGICA PARA OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS	34
2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA: ESTABELECEndo UM ROTEIRO DE BUSCA DE ARTIGOS SOBRE O TEMA INVESTIGADO	34
2.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO COMO FERRAMENTA DE INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE	37
2.3 LEVANTAMENTO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS EM ELETROQUÍMICA POR INTERMÉDIO DE PESQUISAS ACERCA DO TEMA.....	40
3. POR UMA ABORDAGEM CONTEXTUAL DA NATUREZA ELÉTRICA DA MATÉRIA: INVESTIGANDO MICHAEL FARADAY	44
3.1 INFLUÊNCIA EXTERNA NA PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO	46
3.2 MECANISMOS QUE TEORIZAM A CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA	53
3.3 COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA E SUA RELAÇÃO COM A ELETRICIDADE.....	61
4. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE ELETROQUÍMICA E CATEGORIAS CONTEXTUAIS: POSSÍVEIS APROXIMAÇÕES.....	71
4.1 ESTRUTURA DA MATÉRIA.....	75
4.2 FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ENTIDADE ÍON.....	78
4.3 CONDUTIBILIDADE ELÉTRICA	81
4.4 CORRENTE ELÉTRICA	85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS	95

INTRODUÇÃO

De início, gostaria de destacar alguns episódios que marcaram minha vivência acadêmica e influenciaram meu interesse pelos debates em História da Ciência e, posteriormente, pelas suas contribuições para o Ensino de Ciências. A graduação nos proporciona o contato com um vasto conjunto de conhecimentos, e, com ele, surgem diversos questionamentos que nos causam inquietações durante as disciplinas. Por que um determinado fenômeno é compreendido de tal forma? Como tal ideia foi construída? Como pode tal explicação ser plausível, se minha experiência sensorial me diz o contrário? Essas foram algumas das questões que me inquietaram durante a minha formação inicial; a ciência não é intuitiva, pelo contrário, exige de nós abstrair do mundo das ideias, das idealizações e dos modelos.

Foi o contato com a disciplina optativa História e Epistemologia da Química que me proporcionou a busca por compreender o conhecimento científico através do seu contexto sócio-histórico. O debate sobre os aspectos históricos que permeiam a construção do conhecimento científico me possibilitou perceber a ciência de uma maneira mais abrangente e não apenas com foco na apreensão dos conceitos científicos e sua aplicação em fórmulas matemáticas ou para a compreensão de experimentos realizados em laboratório. Passado esse período, as inquietações persistiram, e surgiu a oportunidade de desenvolver no PIBID atividades voltadas para a educação básica, com fundamentação na História da Ciência, o que acabou por me aproximar cada vez mais desse campo.

A dinâmica do grupo do PIBID consistiu em buscar respostas para a pergunta lançada pelo professor formador e, a partir delas, produzir oficinas temáticas pautadas na Abordagem Contextual proposta por Michael R. Matthews, e foram as oficinas que me inseriram de modo mais profundo nas discussões sobre História da Ciência e suas potencialidades para o ensino. Nesse sentido, as inquietações fomentadas na disciplina optativa e o consequente desenvolvimento de atividades atreladas à História da Ciência através do PIBID foram fundamentais para a minha trajetória acadêmica e resultaram no desenvolvimento desta pesquisa.

Minha vivência acadêmica vai ao encontro dos debates ocorridos nas últimas décadas, em que são recorrentes as discussões quanto ao modo como o Ensino de Ciências tem se desenvolvido e quanto às necessidades de sua reformulação no que diz respeito aos seus objetivos e abordagens, de modo a desenvolver um ensino contrário à mera reprodução de

conceitos científicos fora de um contexto de significação e que busque inserir elementos da História da Ciência em suas propostas.

Documentos oficiais expressam orientações para a inserção da História da Ciência como ferramenta para a promoção de um ensino que busque a compreensão do conhecimento científico enquanto construção humana e permeado por erros, conflitos e rupturas. Um aspecto defendido é que a inserção da História da Ciência pensada como conhecimento socialmente produzido pode contribuir para a melhoria do Ensino de Ciências. Logo, a consciência de que o conhecimento científico é assim dinâmico e mutável possibilita que os estudantes tenham uma visão crítica e abrangente da ciência.

Nessa vivência durante a graduação, pude conhecer alguns estudos sobre eletricidade, destacando o surgimento de teorias na tentativa de compreender os fenômenos elétricos; a controvérsia quanto à origem da eletricidade (natureza material ou animal); a eletricidade enquanto meio para investigar a matéria através da decomposição de substâncias; a aplicação ao estudo das reações químicas, entre outros aspectos. Nesses estudos, destacou-se Michael Faraday, que utilizou a corrente elétrica para produzir transformações químicas e físicas e, assim, encontrar relações de proporcionalidade entre a quantidade de matéria e de eletricidade utilizada, entre outras contribuições para o desenvolvimento da eletroquímica.

Um olhar sobre a Abordagem Contextual proposta pelo professor Michael R. Matthews possibilitou-me a compreensão do contexto sócio-histórico em que o conhecimento científico se desenvolveu, em contraponto com um ensino que enfatiza algumas figuras da História da Ciência ou que omite períodos significativos do desenvolvimento de certos campos do saber, os quais são importantes aos estudantes para que compreendam a construção e a aplicação dos conceitos científicos em determinadas situações.

Tendo em vista essa discussão inicial e a necessidade de aprofundamento da investigação no âmbito de um Projeto de Pesquisa, esta dissertação tem o propósito de procurar responder à seguinte questão: quais aspectos históricos dos estudos sobre eletricidade de Michael Faraday podem contribuir, através da abordagem das possíveis controvérsias históricas, para que os estudantes construam explicações mais estruturadas sobre a Natureza Elétrica da Matéria? Essa questão básica evidencia que os estudos sobre eletricidade foram fundamentais para a compreensão da Natureza Elétrica da Matéria, e a inserção dessa temática, por meio da História da Ciência, pode ser abordada tomando-se como referência as

concepções expostas pelos estudantes sobre fenômenos elétricos e que são apresentadas na literatura do Ensino de Ciências.

A hipótese levantada é a de que a relação entre fenômenos elétricos e estrutura da matéria já pode ser pensada à luz dos constructos de Michael Faraday, mostrando a necessidade de se entender como as “partículas” se comportavam na eletrólise realizada por esse cientista. Desse modo, pode-se apresentar uma segunda hipótese, a de que este estudo sobre a relação fenômenos elétricos e estrutura da matéria pode contribuir para a superação de concepções alternativas de estudantes nos níveis médio e universitário.

Assim posto, esta dissertação, enquanto Projeto de Pesquisa, tem como objetivo investigar como os constructos teóricos de Michael Faraday podem contribuir no âmbito do Ensino de Ciências, através da Abordagem Contextual, para compreensões cientificamente mais estruturadas quanto à Natureza Elétrica da Matéria, tendo como referência o levantamento das concepções dos estudantes expressas na literatura. Para a execução do objetivo proposto, a pesquisa foi estruturada em dois objetivos específicos, são eles: 1º) investigar possíveis contribuições de Michael Faraday para a construção de modelos sobre a natureza elétrica da matéria e; 2º) extrair, através da literatura, quais concepções os alunos apresentam sobre a natureza elétrica da matéria e quais as aproximações com os constructos teóricos de Faraday.

O debate está organizado da seguinte maneira: o primeiro capítulo versa sobre as discussões que envolvem o uso da História e Filosofia da Ciência no âmbito do Ensino de Ciências, como rica fonte de elementos para uma compreensão mais abrangente da natureza do conhecimento científico através da Abordagem Contextual defendida por Michael R. Matthews, em consonância com o estudo de Casos Históricos. Ainda no primeiro capítulo, são apresentadas as contribuições do movimento das Concepções Alternativas, sua influência nas pesquisas em ensino e suas contribuições para a área. No segundo capítulo, por sua vez, será descrita a rota metodológica para o levantamento e tratamento dos dados, que consiste, respectivamente, na Pesquisa Bibliográfica e na Análise de Conteúdo para a construção das categorias contextuais, e a Revisão de Literatura para o levantamento das concepções dos estudantes.

Já o quarto capítulo será dedicado a apresentar as categorias contextuais, ou seja, as possíveis contribuições dos estudos de Michael Faraday para a compreensão da Natureza Elétrica da Matéria. No quinto, é apresentado o resultado da Revisão da Literatura referente às

concepções que os alunos apresentam sobre matéria e sua natureza elétrica, bem como possíveis aproximações com as ideias debatidas durante o contexto sócio-histórico de Faraday. O quinto capítulo é dedicado a algumas sínteses, considerações e conclusões sobre os resultados desta investigação e às contribuições deste estudo para o ensino. Por fim, serão apresentadas algumas considerações finais.

1. MARCO TEÓRICO

A perspectiva da formação de cidadãos capazes de relacionar de forma coerente ciência e tecnologia, assim como uma visão abrangente do desenvolvimento da ciência, segundo os resultados de pesquisas, pode ser desenvolvida através da inserção de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências. Há décadas têm ocorrido um movimento de aproximação dos estudos acerca da natureza do trabalho científico e a aprendizagem de ciências, como potencial para alcançar os objetivos almejados, destacamos a contextualização histórica por intermédio do estudo de Episódios Históricos, a qual propõe a compreensão do processo de construção dos conceitos científicos através da inserção dos aspectos sócio-históricos como uma alternativa didática que pode fornecer subsídios para discussões sobre a Natureza da Ciência em sala de aula.

Considerando que a compreensão do conhecimento científico não passa apenas pela compreensão do contexto sócio-histórico de construção desse conhecimento, mas também pela consideração das concepções que os estudantes carregam consigo, oriundas da sua vivência cotidiana, há amplo consenso quanto à ideia de que as Concepções Alternativas são barreiras à apreensão do conhecimento científico, pois não são abandonadas pela simples apresentação do conhecimento científico escolar. É significativo para a efetivação do processo de ensino-aprendizagem que os estudantes compreendam que a ciência é uma dentre outras formas do saber, com seus parâmetros específicos de construção, consolidação e aplicação. É nessa perspectiva que propomos a discussão a seguir.

1.1 VISÕES SOBRE HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA ENSINAR CIÊNCIA

Nas últimas décadas, os debates sobre a forma como o Ensino de Ciências vêm se desenvolvendo, advindos principalmente dos resultados das pesquisas que apontam para a necessidade de proposição de abordagens diferenciadas que venham a se adequar às necessidades educacionais. Existe praticamente um consenso de que é necessário superar as limitações apresentadas pelo ensino vigente, na medida em que nossos estudantes não compreendem a ciência amplamente ou até mesmo repudiam as disciplinas científicas, taxando-as como chatas ou sem significado prático (MATTHEWS, 1995; DUARTE, 2004).

O que se propõe como objetivo é formar cidadãos capazes de estabelecer uma relação coesa entre a ciência e a tecnologia, assim como a compreensão de como o conhecimento científico se desenvolveu ao longo da história (ALLCHIN, 2012; DUARTE, 2004;

LEDERMAN; ANTINK; BARTOS, 2014). Tais metas podem ser alcançadas por meio da contextualização histórica, na medida em que tal abordagem propõe a compreensão da construção dos conceitos científicos através da inserção de aspectos sócio-históricos que buscam compreender a ciência enquanto construção humana envolta em processos permeados por avanços, erros e conflitos (MATTHEWS, 1995; ALLCHIN, 2012).

Diversos autores vêm discutindo as contribuições da HC para o Ensino de Ciências e defendendo sua inserção nas práticas de sala de aula através de abordagens inovadoras, por meio do estudo de episódios obtidos através da HC (MATTHEWS, 1995; ALLCHIN, 2004; 2014; OKI; MORADILLO, 2008; SILVA; MOURA, 2008; ANJOS; JUSTI, 2015). Tal tendência teve seu início na década de 1960, com as reformas curriculares, em especial as que ocorreram nos Estados Unidos e na Inglaterra, cujo objetivo era aproximar a aprendizagem das ciências das características do trabalho científico (DUARTE, 2004). As várias tentativas de incorporar as dimensões do fazer científico na estrutura de alguns currículos proporcionaram frutíferos debates e reflexões sobre novas perspectivas para o Ensino de Ciências, agora fundamentados na HC (MATTHEWS, 1995; DUARTE, 2004).

Quanto aos objetivos estabelecidos por essas propostas, Matthews (1995) destaca que o Currículo Nacional Britânico de Ciências estabelece como algumas de suas metas que os estudantes sejam capazes de distinguir entre afirmações e argumentos pautados em dados científicos e os que não o são; outro aspecto colocado é possibilitar a compreensão da relação existente entre o desenvolvimento do conhecimento científico com seu contexto cultural, social e histórico, assim como promover o estudo de controvérsias científicas e de mudanças no pensamento científico.

Na esfera dos documentos oficiais nacionais, em se tratando especificamente do ensino de Química, os PCNEM compreendem, mesmo que de forma tímida, que o ensino deve proporcionar a interpretação do mundo através das ferramentas da Química, de modo a compreender que o conhecimento químico não é um conjunto de conhecimentos construídos de modo isolado e que, uma vez formulados, estão prontos e acabados para todo o sempre, mas, sim, uma construção humana e em contínua mudança. Logo, a História da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos (BRASIL, 2000).

Apesar da ênfase que se tem dado à HC enquanto componente indispensável, há, nos currículos oficiais, uma presença muito discreta dessa tendência nos currículos da escola básica, sendo, possivelmente, um reflexo da forma superficial como os materiais históricos abordam a HC (DUARTE, 2004; MARTINS, 2006). Destaca-se, nesse sentido, a importância de materiais adequados, aspecto que tem sido um entrave ao desenvolvimento de abordagens qualitativas no Ensino de Ciências. Allchin (2014) ressalta que os discursos devem ser postos de modo que as ações e os pensamentos dos cientistas sejam razoáveis para os estudantes; além disso, é necessário que o professor dê sentido aos eventos históricos por intermédio da apresentação do contexto deles, em contraste com os relatos populares triunfais dos livros didáticos que endeusam os cientistas. Dentre as principais perspectivas de abordagem da HC destaca-se a reconstrução histórica linear e seletiva (MARTINS, 2005; 2006); interpretação “Whig” ou história anacrônica (ALLCHIN, 2004; 2014; MARTINS, 2005; 2006); interpretação “Prig” (MARTINS, 2005; 2006); “Apudismo” (MARTINS, 2005; 2006) e; historiografia Internalista e Externalista (MARTINS, 2005; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; OLIVEIRA; SILVA, 2012), linha historiográfica em que nos fundamentamos ao abordar o contexto sócio-histórico de Michael Faraday.

Martins (2005; 2006) concorda quanto a presença de ideias equivocadas nas reconstruções históricas: a primeira diz respeito à HC repleta de datas e de informações que não têm relevância para o problema estudado; essa abordagem apresenta com maior ênfase alguns personagens históricos em detrimento de outros que, por sua vez, também foram importantes para a elaboração do conhecimento. Logo, essa abordagem se alinha a uma visão de Ciência com embates entre cientistas, em que os gênios chegam a conclusões espetaculares e os derrotados somente a teorizações erradas.

Outra concepção distorcida acerca da HC, e que está presente em reconstruções históricas, é aquela denominada de interpretação Whig da história ou História da Ciência anacrônica. Ela consiste em estudar o passado com os olhos do futuro, e, nessa concepção, os historiadores focam na busca apenas dos fatos que são aceitos atualmente e se esquecem do contexto da época (ALLCHIN, 2004; 2014; MARTINS, 2005; 2006). Na verdade, o que se espera é que o historiador busque compreender o contexto da época sem perder de vista o que veio depois, ressaltando o cientista enquanto sujeito sócio-histórico e seu contexto de ideias, e não buscar relações entre ideias de contextos distintos e que, portanto, apresentam parâmetros de análise diferentes (ALLCHIN, 2004; 2014). Ademais, atrelada à interpretação Whig,

apresenta-se a visão “Prig”, que trata de enfatizar o passado sem considerar a história moderna da ciência (MARTINS, 2005; 2006).

O “Apudismo” é outra visão ideológica da HC e se refere à afirmação de ideias sobre um determinando cientista ou episódio histórico, por intermédio de análises feitas por outros e que podem conter uma visão tendenciosa dos fatos; nesse sentido, recomenda-se também a leitura de fontes originais, conforme Martins (2006), que destaca uma outra concepção de HC que vai além das apontadas em Martins (2005) e que diz respeito ao uso autoritário de argumentos em HC, sendo que obrigar a aceitação do conhecimento científico através de uma perspectiva histórica também é um equívoco apresentado por abordagens históricas. Segundo Martins (2006), reconhecer apenas os resultados científicos põe as ideias científicas como verdades únicas e caracteriza o discurso autoritário que compõe a crença científica; já a HC, por sua vez, se fundamenta na exposição e no reconhecimento dos fatos científicos, dando margem, por conseguinte, à sua aceitação por intermédio de uma história que não seja tendenciosa ou fictícia e que permita de fato conhecer as justificativas científicas e seus fundamentos.

Destacamos a perspectiva da contextualização histórica com enfoque nos conceitos (abordagem Internalista) ou na sociológica (abordagem Externalista). A historiografia da ciência fundamenta suas análises dos Episódios Históricos da ciência com base em documentos relacionados à ciência, entretanto essa análise histórica está carregada de crenças e perspectiva filosófica do historiador devido a influência da sua formação, é nesse contexto que surgem as diferentes abordagens historiográficas Internalista e Externalista da HC, ou seja, fatores internos ou externos do desenvolvimento científico (MARTINS, 2005; OLIVEIRA; SILVA, 2012). A primeira é referente as questões que tencionam o desenvolvimento dos conceitos e tratam mais de aspectos do método, conceitos, experimentos e teorias e validade das afirmações científicas, enquanto a segunda trata das questões sociais, econômicas e políticas que influenciam o desenvolvimento do conhecimento científico, uma história que se interessa pelo papel dos fatores não intelectuais, particularmente institucionais e socioeconômicos do desenvolvimento científico (MARTINS, 2005; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; OLIVEIRA; SILVA, 2012).

A abordagem Externalista para o Ensino de Ciência tem potencial para melhorar a compreensão pelos estudantes de que a ciência não se desenvolve fora do contexto social e histórico, mas como influência das necessidades oriundas de cada contexto (OLIVEIRA;

SILVA, 2012). Oliveira e Silva (2012) ainda destacam que ao decodificar a ciência, os estudos com um viés externalista podem ser apresentados por diferentes perspectivas, a saber: (1) o estudo do desenvolvimento institucional da ciência em períodos e locais específicos; (2) análise das relações entre o desenvolvimento institucional da ciência e aspectos sociais de uma dada cultura; (3) estudo da influência mútua existente entre o desenvolvimento da ciência e a sociedade em que esta ciência desenvolve-se; e (4) estudo de como a ciência afeta a vida social, política e econômica.

Entretanto dissociar estas duas abordagens “empobrece” a compreensão sobre a dinâmica de construção e consolidação do conhecimento científico, assim a análise histórica da ciência deve considerar tanto os aspectos externos quanto internos (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011). Nesse contexto, podemos realizar aproximação com o posicionamento de Matthews (1995), quando propõe que o ensino deveria ser em e sobre ciência, e assim estejam presentes nas abordagens didáticas de modo a se complementarem, os aspectos conceituais e social do fazer ciência. É necessário apresentar um discurso histórico responsável na apresentação do espectro das evidências históricas disponíveis para que não seja desenvolvida ou introduzida uma perspectiva ideológica ou teórica particular; por isso, é mais fácil ler a história seletivamente e extrair dela os itens que concordam apenas com uma visão particular da própria ciência e podem distorcer a visão dos estudantes sobre a NdC (ALLCHIN, 2014).

1.2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ABORDAGEM CONTEXTUAL: PERSPECTIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA VISÃO AMPLA DA CIÊNCIA

Reis (2017) discute que a historiografia consiste nos estudos de produtos primários – materiais escritos por cientistas e que contêm aspectos minuciosos de uma época –; é sobre esse material que os historiadores se debruçam na busca pela reconstrução de fatos do passado, com o intuito de evidenciar os acontecimentos de uma época. É na historiografia que a HC se fundamenta, entretanto, seria a HC a reconstrução das atividades humanas não só com base nos trabalhos científicos, mas na própria atividade científica – métodos, teorias, controvérsias, contribuições de outras áreas, etc. –, e que estão relacionadas intrinsecamente ao fenômeno estudado e seus contextos aquém da ciência.

Compreender a HC por esse viés filosófico permite a reflexão sobre a ciência enquanto atividade humana cercada de conflitos e rupturas que são essenciais à sua

construção e que estão relacionados ao seu contexto de produção, aspectos esses que têm influenciado significativamente o Ensino de Ciências, na medida em que buscam inserir elementos da História e Filosofia da Ciência nas aulas de ciências (MATTHEWS, 1995; ERDURAN, 2001; RIBEIRO, 2013). Reis (2017) e Lederman, Antink e Bartos (2014) destacam que, apesar da utilização de elementos da historiografia, é nítida a distinção entre os textos produzidos por historiadores da ciência, filósofos da ciência e educadores, qual seja, o rigor textual dos estudos historiográficos e filosóficos, uma vez que não possibilitam seu uso na educação básica e expõem a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia apropriada para o Ensino de Ciências.

Segundo Oliveira e Silva (2012), o posicionamento de historiadores e filósofos que tem discutido a influência da abordagem da HC no ensino, é que as várias abordagens uma vez adotadas no ensino, podem influenciar no entendimento da NdC pelos estudantes. Como destacam as autoras, um dos objetivos incorporados ao ensino de ciências tem sido a contextualização histórica, pois tornaria o educando apto a interpretar as transformações sociais e como elas estão relacionadas ao desenvolvimento do conhecimento científico, uma melhor compreensão da NdC pode ser alcançada através da HC.

Duarte (2004) acrescenta que a HC para o Ensino de Ciências tem impulsionado mudanças significativas nos objetivos e abordagens estabelecidos. Para a autora, as potencialidades podem ser sintetizadas nos seguintes pontos:

- Fornece elementos do contexto de construção do conhecimento científico intrínseco a cada período histórico e, desse modo, pode auxiliar na melhor compreensão do desenvolvimento dos conceitos, pois a construção do conhecimento científico e a elaboração cognitiva dos estudantes apresentam semelhanças que possibilitam antecipar concepções/dificuldades apresentadas pelos estudantes;
- É ferramenta promotora da compreensão da NdC, ou seja, o conhecimento científico apresenta-se enquanto construção humana que está em constante transformação e que é influenciada pelo seu contexto sócio-histórico;
- Proporciona o combate à ideia de que a ciência é a detentora da verdade e que, por meio dela, é possível alcançar todas as respostas para as questões colocadas pela humanidade, assim como a ideia de que apenas as teorias hoje consideradas corretas

têm importância no desenvolvimento da ciência, sem destacar que aquelas que hoje estão obsoletas também foram significativas;

- Demonstra a ciência enquanto produto das ideias dos indivíduos de uma determinada época, em contraposição às ideias propagadas em biografias ou Episódios Históricos da vida apenas daqueles que obtiveram sucesso;
- Mostra que o conhecimento científico se desenvolve em conjunto com outros campos do saber (matemática, filosofia, geografia, etc.) e que a ciência, por sua vez, interfere em cada um desses campos.

Entretanto, Matthews (1995) ressalta que a inserção de debates sobre HC não deve consistir em mais um item a ser trabalhado na matéria, mas que sejam inseridas questões da HC em conjunto com os conteúdos programáticos que possibilitem discussões acerca da NdC. Anjos e Justi (2015) reforçam esse princípio ao destacarem que não se deve aumentar a carga de conteúdos programáticos; mas sim, que ocorra uma mudança na abordagem dos conteúdos já estabelecidos para o Ensino de Ciências, permeando-os com elementos da NdC cabíveis a cada contexto de desenvolvimento dos conceitos científicos.

A inserção de componentes de HC como meio para a compreensão da NdC pode proporcionar aos estudantes uma visão de ciência enquanto construção humana com suas questões sociais, culturais e éticas. Uma compreensão rica e abrangente do fazer científico implica a compreensão da NdC, que se estabelece enquanto uma das finalidades do ensino atual e pode ser alcançada através da HC (ALLCHIN, 2012; ANJOS; JUSTI, 2015; OKI; MORADILLO, 2008; SILVA; MOURA, 2008; MOURA, 2014).

Nesse contexto, a AC apresenta-se como significativa para se compreender a NdC quando aplicada ao estudo de Casos Históricos, e tal motivo se encontra bem claro na definição de AC estabelecida por Matthews (1995). Como destaca o estudioso, trata-se de uma abordagem voltada a alimentar a educação científica com HC, na medida em que se acrescentam os elementos constitutivos da dinâmica social e cultural do fazer científico e que são característicos de cada contexto estudado.

“[...] uma educação em ciências, onde estas sejam ensinadas em seus diversos contextos: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico; o que não deixa de ser um redimensionamento do velho argumento de que o ensino de ciências deveria ser, simultaneamente, em e sobre ciências” (MATTHEWS, 1995, P.166).

Oki e Moradillo (2008) mostram que o surgimento da AC é referente às primeiras décadas do século XX, mas foi na década de 1940 que tal proposta ganhou notoriedade, a partir do químico e educador James Connant, ao introduzir em seus cursos de ciências o estudo de Episódios Históricos, haja vista que ele acreditava que estudar como a ciência se desenvolveu poderia auxiliar na compreensão de sua natureza. Destaca-se também o trabalho realizado por Gerald Holton, que propunha a relação entre conhecimentos específicos da Física e outros campos do saber, como Astronomia, Química, Filosofia, Matemática, História, etc.

O uso de Episódios Históricos nas aulas do Ensino Médio pode acontecer a partir de atividades em que os alunos possam se envolver, através de um planejamento estruturado e mediado pelo professor (ANJOS; JUSTI, 2015). Ideia semelhante é defendida por Allchin (2004; 2012), assim como por Silva e Moura (2008) quando comentam que o estudo de Episódios Históricos pode fornecer subsídios para discussões sobre a NdC em sala de aula, na medida em que proporciona uma visão mais dinâmica e detalhista do processo de construção do conhecimento científico e que vai de encontro à proposição de Matthews (1995).

Há, nas últimas décadas, certa tendência para que no ensino se desenvolva o debate sobre a concepção de que a ciência é “tentativa”, provisória, aleatória ou sujeita à revisão, transmitindo a ideia de que o conhecimento científico não cresce ou progride por um processo cumulativo (ALLCHIN, 2012; 2014). Apenas mencionar que a ciência é tentativa, não contribui para a construção de uma visão coerente, é preciso que os estudantes se envolvam no estudo de Episódios Históricos, pois estes se apresentam aos estudantes com o espectro de erros que permeiam a ciência e que são particulares de cada episódio histórico, haja vista que eles, os estudantes, precisam saber porque a ciência muda e quais erros levam a tal mudança, bem como discernir quais reivindicações científicas são confiáveis e quais não o são, como os constructos teóricos mudaram e quais seus parâmetros de (re)avaliação (ALLCHIN, 2012). Como destaca Allchin (2014), o uso de casos históricos é válido como uma das possíveis abordagens para contextualizar a NdC, pois auxiliam na compreensão das mudanças de paradigma na ciência, da tentatividade na ciência e dos “erros científicos”.

Oki e Moradillo (2008) destacam duas abordagens para se inserirem conteúdos sobre a NdC, a saber, a abordagem implícita e a explícita. A primeira diz respeito a atividades cujas mensagens estão inseridas implicitamente; nela, a construção do conhecimento ocorre por meio do envolvimento do estudante nas atividades de caráter investigativo que lhe são

colocadas. A segunda abordagem refere-se, por seu turno, à elaboração de materiais instrucionais com objetivos claros quanto à sua finalidade, ou seja, a discussão de aspectos da NdC, por meio da discussão de conteúdos epistemológicos através de atividades que incluem investigações e exemplos de Casos Históricos que devem fomentar discussões e reflexões guiadas por questionamentos específicos sobre o assunto. Essa última apresenta-se como mais efetiva em pesquisas realizadas e, por isso, reforça o nosso debate quanto a possibilitar a compreensão de aspectos relacionados à NdC (OKI; MORADILLO, 2008).

1.3 FILOSOFIA DA QUÍMICA: UM CAMPO EMERGENTE NO ENSINO DE QUÍMICA

Dentro da perspectiva do ensino contextual, cabe considerar a relevância da inserção de elementos da Filosofia Química (FQ), tal posicionamento justifica-se quando se pretende o desenvolvimento de uma compreensão mais profunda da ciência química que se está ensinando (SCERRI, 2001). O autor ainda destaca que não basta treinar os professores em assuntos químicos ou conteúdos pedagógicos, também é necessário o conhecimento da Natureza da Química, para que os professores sejam capazes de ensinar a seus estudantes os parâmetros simbólicos, filosóficos e teóricos que fundamentam esse campo do saber.

Entretanto, a FQ foi negligenciada até meados da década de 1990, um dos principais fatores foram as sucessivas tentativas de reduzir a Química à Física, e a consequente compreensão dos fenômenos químicos, que estão intrinsecamente relacionados às transformações da matéria, por intermédio dos constructos teóricos da Física (MCINTYRE, 1999; ERDURAN, 2001; RIBEIRO, 2013). Um dos principais motivos que contribuíram para esse panorama foi que, na construção da Filosofia da Ciência, seus fundadores eram oriundos principalmente da escola mecanicista, cuja adesão pelos físicos foi expressiva, havendo aí a tentativa de construir uma filosofia universal baseada em tal princípio, suprimindo outras correntes filosóficas, entre elas a Química (SHUMMER, 2003; RIBEIRO, 2014). Após 1990, a união entre químicos, filósofos e historiadores favoreceu o intenso debate que resultou na construção de uma comunidade de pesquisa voltada para a consolidação da FQ, assim como para refletir e investigar os constructos teóricos e metodológicos e o contexto de desenvolvimento dessa ciência (SHUMMER, 2003).

A principal característica da Filosofia da Ciência é compreender quais os elementos que permitem distinguir a ciência de outros empreendimentos (ERDURAN, 2001), bem como compreender como a ciência progride e como as teorias “vencedoras” tornam obsoletas as

suas concorrentes (SCERRI, 2001), compreender como tais fatores afetam os constructos teóricos da Química é significativo, principalmente quando as reformas curriculares apontam para a construção de um currículo mais dinâmico e reflexivo quanto à compreensão da construção e consolidação da ciência (MATTHEWS, 1995). Ribeiro (2013) aponta alguns dos principais campos de estudo da filosofia química, são eles:

- i. Autonomia da Química em relação à Física;
- ii. A natureza e especificidade teórica da química, e em especial seus modelos;
- iii. Os contributos da História da Química para a compreensão da construção do conhecimento químico;
- iv. Princípios que guiam o trabalho dos químicos, e

Papel da instrumentação na química

Erduran (2001) salienta que é necessário reconhecer a influência da FQ na Filosofia da Ciência, já que possui seus próprios conceitos, métodos e teorias; sua compreensão requer não só o entendimento da química pura, mas também da História da Química, pois é uma entidade histórica em processo de desenvolvimento. Nesse contexto, a HC contribuiu para sua construção, uma vez que é difícil estabelecer uma fronteira clara entre esses dois campos, e muitos historiadores acabaram se apropriando de questões filosóficas relativas à construção e à consolidação do conhecimento químico, do impacto da química na sociedade e de como a química é impactada pelo contexto social (SHUMMER, 2003).

A FQ ainda é um campo emergente e em processo de consolidação, e ainda não existe uma integração efetiva com o Ensino de Química; é importante destacar que, enquanto os filósofos a compreendem como um campo de estudo interdisciplinar, criativo, prático e histórico, o ensino continua a se desenvolver de modo propedêutico e rígido (RIBEIRO et al., 2013; KAVALEK et al., 2015). Nas últimas décadas, a inserção da História e Filosofia da Química no ensino tem sido defendida principalmente como uma ferramenta para motivar o aprendizado dos estudantes, mas o currículo ainda se encontra integrado à epistemologia tradicional, principalmente na Filosofia Física e no positivismo, aspecto que tem contribuído para uma dicotomia entre a Química que é praticada e a Química que é ensinada (RIBEIRO, 2013; RIBEIRO, 2014).

Entretanto, suas implicações no âmbito da educação química têm sido fortemente discutidas, pois os educadores “enxergam” uma via potencial para fornecer o contexto

relevante através da qual os aspectos epistemológicos da química poderiam ser compreendidos e posteriormente inseridos na sala de aula; como exemplo, Erduran (2001) cita o estudo de modelos e sua alteração no decorrer do desenvolvimento do conhecimento científico, bem como os fatores que contribuem para as reestruturações ou mudanças dos constructos teóricos. Mais uma vez, cabe destacar que é preciso avaliar a credibilidade da história que se produz e evitar recair sobre uma história “Whig” (MARTINS, 2005; 2006). Ainda segundo Erduran (2001), fornecer elementos da História da Química possui relevância para o ensino, pois, como os estudantes não têm incorporado para si os elementos teóricos e contextuais de produção da ciência, estes precisam ser apresentados aos estudantes.

Segundo Ribeiro (2013), o obstáculo conceitual está entre um dos maiores problemas na educação química e propõe que a superação desse quadro passa pela discussão de aspectos ontológicos (níveis de realidade, descrição e complexidade) e epistemológicos (parâmetros em que se dá a análise) inerentes à ciência química, por intermédio da FQ, pois isso tornaria mais claros os níveis de descrição, análise e explicação do discurso químico. Quanto mais o professor conhecer as dimensões da explicação química, mais eficaz será o ensino, visto que, sem um aporte na Filosofia da Ciência há uma tendência para que esses profissionais exponham opiniões que são em sua maioria intuitivas, tentativas e no geral equivocadas sobre os parâmetros em que as explicações científicas são construídas. Ao invés de apenas introduzir os professores na noção de NdC, é preciso introduzi-los na natureza da própria ciência; pois, embora seja importante a compreensão das diferentes teorias, leis e modelos, é imprescindível que eles compreendam como sua natureza varia entre as ciências básicas, como a Física e a Química, para que não se incorra no julgamento de teorias químicas com base em elementos da Física, apesar do consenso de que, apesar de campos distintos, eles mantêm certas características homogêneas (SCERRI, 2001; RIBEIRO, 2013).

1.4 ABORDAGEM CONTEXTUAL COMO ALTERNATIVA PARA APROXIMAR AS CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

A década de 70 foi marcada pela busca e análise, no ensino de ciências, das concepções anteriores ao ensino formal – e que os estudantes carregam consigo –, as quais foram nomeadas de formas diversas como “conceitos intuitivos”, “estruturas alternativas”, “concepções alternativas”, entre outros termos (NARDI; GATTI, 2004). Apesar da diversidade de realidades sociais e de concepções linguísticas e éticas que se fazem presentes no ambiente de sala de aula, isso não significa que não há uma comunicação intercultural que

em certo ponto apresenta similaridades. Exemplo disso é que, em certos conteúdos científicos, são empregados padrões coletivos de significado, é o caso das Concepções Alternativas (CA) que são responsáveis pela proposição de respostas padronizadas frente ao fenômeno em estudo (LABURÚ, ARRUDA; NARDI, 2003).

Essas concepções não são abandonadas quando os estudantes adentram à sala de aula, visto que elas expressam valores culturais e sociais do seu cotidiano e são utilizadas na representação da realidade, configurando-se como modelos explicativos para fenômenos que, na maioria das vezes, diferem das ideias científicas; uma das principais características é que diferem significativamente das provenientes da ciência (ARRUDA; VILLANI, 1994; NARDI; GATTI, 2004; SILVA; AMARAL, 2016). Assim, as investigações contribuíram para a consolidação do “paradigma construtivista” e puseram em dúvida a validade do processo de ensino-aprendizagem pautado no ensino positivista.

Driver e colaboradores (1999) e Martins (2006) complementam que os estudantes não abandonam as concepções alternativas, pois eles não chegam às conclusões científicas por conta própria, como defendiam os positivistas ao proporem a aprendizagem por descoberta; eles, os estudantes, necessitam que os parâmetros de estabelecimento do conhecimento científico lhes sejam apresentados, e cabe ao professor esse papel. Como apresentam limitações quando são requeridos a explicar fenômenos em um contexto científico, é justificada a atenção que deve ser dada a tais concepções; ademais, a construção do conhecimento científico em sala de aula sofre influência dos modelos alternativos que os estudantes constroem, e é possível inferir que a aprendizagem dos conceitos científicos ocorre mediante o estabelecimento de relações entre esses últimos e os conhecimentos anteriores (EL-HANI; BIZZO, 2002; SILVA; AMARAL, 2016).

A investigação sobre as concepções dos estudantes levou à busca por referenciais teóricos e também à aplicação através de abordagens de sala de aula. A proposta era a elaboração de modelos aplicáveis ao ensino e que proporcionassem a rejeição das concepções alternativas e a internalização das concepções aceitas pela ciência através da apresentação de novas ideias e evidências, modelo denominado de “mudança conceitual”. Os defensores, como George J. Posner, partiram do princípio de que, assim como ocorrem mudanças conceituais no desenvolvimento e na consolidação do conhecimento científico, o mesmo ocorreria no ensino de ciências – teoria da Mudança Conceitual –; nesse sentido, apoiavam-se na chamada Nova Filosofia da Ciência, em que alguns de seus principais divulgadores eram

Kuhn, Lakatos e Toumin. A tese da Mudança Conceitual supunha que o indivíduo deve construir seu próprio conhecimento e foi supostamente pautada em Thomas Kuhn, cuja epistemologia prega que todo conhecimento é relativo e depende de um paradigma (MATTHEWS, 2002; NARDI; GATTI, 2004); os trabalhos de Thomas Kuhn influenciaram a teoria da mudança conceitual, uma vez que, nessa visão, a ciência se desenvolvia através de períodos denominados de ciência normal que seriam guiados por um parâmetro teórico e que se alternariam com períodos de revolução, em que o paradigma vigente é substituído por outro, visto que, na perspectiva Kuhniana, uma revolução se inicia com uma anomalia, ou seja, o paradigma vigente apresenta limitações, e sua reestruturação precisa ser realizada (ARRUDA; VILLANI, 1994; EL-HANI; BIZZO, 2002).

Segundo Matthews (2002), reconheceu-se que a história, a filosofia e a sociologia da ciência contribuem para a educação científica e, portanto, foi proposta a inserção delas no currículo científico, além de que a Filosofia da Ciência em que se fundamentou o ensino foi a Filosofia Construtivista. O movimento das concepções alternativas foi fortemente influenciado pelo construtivismo voltado para o ensino e a aprendizagem – Construtivismo Educacional –, que era fundamentado por duas teses centrais, a saber: que o conhecimento é uma construção do sujeito e não algo que ele possa receber passivamente do meio e que o ato de conhecer é um processo de adaptação que organiza as percepções de mundo, mas não conduz à descoberta de uma realidade que não é dada, mas construída (EL-HANI; BIZZO, 2002; MATTHEWS, 2002).

El-Hani e Bizzo (2002) destacam que o construtivismo educacional foi desenvolvido em diversos parâmetros teóricos e que há uma certa tendência entre aqueles que escrevem sobre essa temática: (i) a ênfase na natureza pessoal ou social da construção do conhecimento, e (ii) a visão objetivista ou relativista da natureza da ciência. Apesar das várias tendências de ensino construtivistas, segundo os autores todas elas apontam para os princípios gerais:

- O estudante, quando aprende de maneira significativa, não apenas reproduz o que lhe foi ensinado, mas constrói significados com base em sua experiência;
- Compreender algo supõe estabelecer relação entre o que está sendo aprendido e o que já se sabe;
- Toda aprendizagem depende de conhecimentos prévios.

Apesar do cenário atual estar permeado por uma diversidade de perspectivas construtivistas para o ensino de ciências, destacaremos a Mudança Conceitual pela sua

importância ao impulsionar as discussões sobre o processo de ensino aprendizagem (EL-HANI e BIZZO, 2002), e demarcamos o Construtivismo Contextual como abordagem mais significativa devido a sua maior proximidade com os pressupostos estabelecidos pela AC pautada na História e Filosofia da Ciência.

A primeira elaboração da teoria da Mudança Conceitual estabelecia que o estudante usa conceitos já apreendidos para analisar um novo fenômeno, numa espécie de processo de assimilação; entretanto, na maioria das vezes, as concepções mostram-se inadequadas para compreender o fenômeno, e o sujeito necessita substituir ou reorganizar seus conceitos, ocorrendo uma forma mais radical de mudança, a acomodação (ARRUDA; VILLANI, 1994; NARDI; GATTI, 2004; EL-HANI; BIZZO, 2002), que se desenvolveria devido à ocorrência sucessiva de quatro fatores:

- A insatisfação com as concepções existentes;
- A nova concepção deve ser inteligível;
- A nova concepção deve parecer inicialmente plausível;
- A nova concepção deve proporcionar um frutífero programa de investigação.

Segundo Martins (2006), a mudança conceitual seria favorecida se o estudante aceitasse os procedimentos de discussão e desenvolvimento da ciência em detrimento dos seus. Para isso, era exigido que ele avaliasse prós e contras, buscando argumentos a favor de cada uma das alternativas, de modo a alcançar a conclusão mais coerente diante dos fatos apresentados. Um dos argumentos utilizados a favor era que, embora existam críticas bem embasadas, as concepções dos estudantes, apesar de não serem totalmente semelhantes às ideias científicas do passado, apresentam semelhanças e podem auxiliar na mudança para concepções científicas estabelecidas como coerentes e que passaram por todo um processo de debate, reformulação, rejeição ou aceitação (DRIVER et al., 1999).

O processo de mudança ocorreria, assim, com base nas concepções que os estudantes já possuem: esse conjunto de ideias é chamado de ecologia conceitual e sofre influência da seleção de novos conceitos ou teorias e, conseqüentemente, é importante para a ocorrência da acomodação (ARRUDA; VILLANI, 1994), pois propicia o contexto de ideia em que a assimilação ou acomodação devem ocorrer (EL-HANI; BIZZO, 2002).

Nesse contexto, o conflito cognitivo teria papel fundamental, visto que a atividade seria moldada para que os estudantes percebessem a incapacidade de suas concepções prévias

resolverem os problemas produzidos pela interação com o meio; nesse processo, o *status* das concepções prévias perderiam espaço, e o conhecimento científico seria introduzido em uma posição vantajosa para resolver o problema em questão (EL-HANI; BIZZO, 2002). Entretanto, os autores apontam que nesse processo podem surgir alternativas ao processo de acomodação e que os estudantes podem utilizá-las para acomodar suas concepções prévias ao problema investigado, sendo elas:

- Rejeição da teoria como fruto da observação;
- Os resultados experimentais podem não ser relevantes como desafios às concepções prévias;
- Compartimentalização do conhecimento, de modo que o novo conhecimento não entre em conflito com as concepções;
- A acomodação pode ser evitada por um processo em que o estudante reinterpreta a informação científica e a torna compatível com suas concepções prévias, ele utiliza os conceitos já existentes para interpretar o fenômeno.

A teoria passou por críticas, e a principal delas questionava se realmente era possível a ocorrência do abandono das noções alternativas por completo, e investigações posteriores confirmaram que a aquisição do conhecimento científico não é necessariamente acompanhada da eliminação das concepções prévias (NARDI; GATTI, 2004; DUARTE, 2004; SILVA; AMARAL, 2016). Outra crítica foi quanto à simplicidade e abrangência da teoria, e foi solicitada a consideração de dois fatores: a mudança conceitual não é um processo linear de aprendizagem e não pode ser pensada como uma sucessão de etapas rígidas, pois envolve idas e vindas e está fortemente associada a fatores emocionais e não apenas intelectuais; e a relação entre ecologia conceitual e concepções conflituosas é complexa e se modifica durante a aprendizagem (ARRUDA; VILLANI, 1994).

Os resultados das diversas pesquisas aplicadas à realidade de sala de aula contribuíram para as fortes críticas, os resultados corroboravam um fracasso, pois não suscitaram em uma parte significativa de estudantes a compreensão dos conceitos científicos, e os estudantes retornavam às CA depois de um tempo; o objetivismo do método também foi avaliado, haja vista que não considerava os fatores contextuais e motivacionais envolvidos no processo de ensino-aprendizagem e a relação entre conhecimento científico e visão de mundo do estudante (EL-HANI; BIZZO, 2002). Foi proposto que não haviam meios para a extinção das concepções cotidianas e que os estudantes deveriam ser capazes de pensar em diferentes

domínios do conhecimento e de distingui-los, ou seja, CA e conhecimento científico seriam coexistentes (NARDI; GATTI, 2004).

As críticas à teoria da Mudança Conceitual resultaram em orientações ao Ensino de Ciências que estabelecem uma demanda de pluralidade de perspectivas epistemológicas (DUARTE, 2004). O fator que contribui para a adoção de uma pluralismo metodológico é a diversidade de perfis de indivíduos que se encontram reunidos em um mesmo espaço, a sala de aula, cada qual com seus parâmetros de interação e disposição ao desenvolvimento de atividades, tudo isso sendo importante no processo de ensino-aprendizagem, por exemplo, a (pré)disposição ao desenvolvimento de atividades em grupo e a interação entre indivíduos (LABURÚ; ARRUDA; NARDI, 2003).

Há de se questionar o ensino objetivista e empirista que preconiza uma metodologia “rígida” e cujo foco está na transmissão passiva do conhecimento científico pelo professor. O que se defende é a abordagem pluralista, que não deve substituir o conjunto de regras do ensino positivista por outro conjunto de regras, oriundas do construtivismo, mas debater e buscar compreender as vantagens e restrições de cada modelo ou metodologia de aprendizagem, pois cada um depende das complexas variáveis oriundas do ambiente de sala de aula e compete entre si na busca por um contexto adequado de aplicação (LABURÚ; ARRUDA; NARDI, 2003; EL-HANI; BIZZO, 2002).

A segunda perspectiva construtivista mais influente é o Construtivismo Contextual e possui características opostas às da Mudança Conceitual, pois, enquanto esta concebe papel central ao indivíduo na aprendizagem e considera o conhecimento científico como algo dado e que será aprendido pela simples apresentação ao estudante, aquela considera o papel cultural no desenvolvimento e na validação das crenças individuais e propõe apresentar aos estudantes o contexto sociocultural da construção da ciência, que é encarada como uma segunda cultura para os estudantes (EL-HANI; BIZZO, 2002; MATTHEWS, 2002).

Na teoria do Construtivismo Contextual, o conceito de *Visão de Mundo* é fundamental, uma vez que corresponde à forma como o indivíduo organiza suas ideias; considera também a compreensão dos critérios utilizados para que determinadas ideias sejam consideradas válidas e relevantes para o estudante, que carrega consigo uma visão de mundo oriunda de sua relação com sua cultura primeira, assim o que se ensina sobre ciência deve ser considerado pelos aprendizes como uma segunda cultura (EL-HANI; BIZZO, 2002). Segundo a perspectiva do Construtivismo Contextual, a aprendizagem só será significativa se o

conhecimento científico encontrar espaço no meio cognitivo do indivíduo (o que seria a ecologia conceitual defendida na mudança conceitual), a aprendizagem seria comparada então à apreensão de uma segunda língua, ou seja, compreende uma certa visão de mundo que pode coexistir com outras possibilidades (EL-HANI; BIZZO, 2002; MATTHEWS, 2002).

Como contraponto, o construtivismo tem sido proposto como a abordagem mais frutífera, pois almeja que os estudantes aprendam como o conhecimento é construído e quais os seus parâmetros de aplicação (EL-HANI; BIZZO, 2002; MATTHEWS, 2002); apesar de ser considerada uma teoria aplicável a contextos diversos de ensino, o modelo construtivista não é uma receita pronta sobre a prática de sala de aula – Pluralismo Metodológico (LABURÚ, ARRUDA; NARDI, 2003). Logo, não é necessário que a aprendizagem promova a ruptura das suas concepções prévias, o que ocorre é que apenas quando são desafiados a responder com base em conceitos científicos eles devem utilizar a linguagem da ciência (EL-HANI; BIZZO, 2002).

Segundo Matthews (2002), se a teoria prega a construção do conhecimento pelos estudantes, quando na verdade eles não possuem os parâmetros da sua construção e nem suas concepções são iguais às da ciência, uma provável pergunta é: como os indivíduos podem chegar ao conhecimento de esquemas conceituais complexos que levaram centenas de anos para serem formados? Ele destaca que ensinar um corpo de conhecimento não envolve apenas ensinar os conceitos, mas também o método e algo da metodologia ou teoria do método, visto que aprender ciência envolve ser iniciado na cultura científica, mas como isso deve ser feito ainda é um campo que deve ser debatido (MATTHEWS, 2002).

Diante da proposição da apresentação dos parâmetros teóricos e metodológicos que constituem o fazer ciência aos estudantes, de modo que eles possam compreender que a ciência é uma construção permeada por erros, conflitos ideológicos e influenciada pelo contexto social em que está inserida e com sua linguagem própria, os elementos oriundos da História e Filosofia da Ciência podem contribuir, através da AC, para a inserção e o desenvolvimento da compreensão da cultura científica.

2. ROTA METODOLÓGICA PARA OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Diante da necessidade do rigor científico exigido pela pesquisa, descrever a rota metodológica a ser desenvolvida é de extrema importância quando se pretende fidedignidade diante dos resultados obtidos. Com esse intuito, será apresentado o percurso metodológico desta pesquisa qualitativa, que têm caráter exploratório-descritivo. Os itens 3.1 e 3.2 descrevem a rota metodológica que objetivou alcançar o primeiro objetivo específico proposto, investigar possíveis contribuições de Michael Faraday para a interpretação de modelos sobre a natureza elétrica da matéria, e foi desenvolvida por meio da Pesquisa Bibliográfica. Tal metodologia consiste na elaboração e no esboço do conjunto de procedimentos a serem desenvolvidos, de forma ordenada e atenta, quanto ao objeto de estudo, ou seja, os procedimentos metodológicos que envolverão a execução, o detalhamento das fontes e a análise dos dados, a fim de obter soluções para o problema proposto. A análise dos dados será realizada com o aporte da Análise de Conteúdo, conjunto de procedimentos que visam a extrair o significado manifesto das mensagens. Para o levantamento das concepções alternativas sobre eletricidade, meta proposta no segundo objetivo específico, procedeu-se como descrito no item 3.3.

2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA: ESTABELECENDO UM ROTEIRO DE BUSCA DE ARTIGOS SOBRE O TEMA INVESTIGADO

A definição da Pesquisa Bibliográfica como procedimento metodológico para levantamento dos dados, justifica-se, inicialmente, com base em Lima e Miotto (2007) e Sá-Silva e colaboradores (2009), ao passo que afirmam que essa modalidade de pesquisa permite obter dados substanciais para uma análise minuciosa a partir de documentos de domínio científico, como livros, periódicos, artigos científicos, entre outros.

As fontes podem ser agrupadas em primárias e secundárias. Segundo Gil (1989) e Martins (2005), assim como Sá-Silva e colaboradores (2009), fontes primárias são aquelas que não receberam nenhum tratamento analítico, enquanto que as fontes secundárias já receberam tratamento analítico e se constituem nas contribuições de diversos autores acerca de um tema. Martins (2005), ao abordar aspectos da Pesquisa Bibliográfica para estudos em HC voltados ao ensino de Ciências, propõe um conjunto de critérios que devem ser levados em consideração na execução da investigação, entre eles a autora propõe a busca por fontes

primárias e secundárias através de fontes terciárias, ou seja, instrumentos de busca que representam fontes consistentes de material em HC, como bibliotecas digitais.

O percurso metodológico adotado neste trabalho para o levantamento dos dados será pautado nas três etapas propostas por Lima e Miotto (2007). A primeira etapa refere-se à Investigação das Soluções, momento que foi caracterizado pela seleção do material que se constituiu enquanto fonte de dados, expondo onde foram obtidos, quais os critérios de escolha das fontes e sua relevância para o estudo. Cabe destacar que algumas subetapas foram desenvolvidas e se referiram à definição do parâmetro temático, do parâmetro linguístico, das principais fontes e do parâmetro cronológico a ser adotado.

- i. *Parâmetro temático*: escolha das obras relacionadas ao objeto de estudo, de acordo com o tema correspondente, ou seja, obras que apresentam discussões sobre Michael Faraday, seus constructos teóricos sobre a natureza elétrica da matéria, assim como aspectos sociais, econômicos e políticos sobre o contexto da sua época.
- ii. *Parâmetro linguístico*: definição do idioma em que os documentos selecionados foram pesquisados, que, para esta pesquisa, foram documentos em língua inglesa. A escolha pela língua inglesa é devido à possibilidade do levantamento de um maior número de trabalhos sobre Faraday.
- iii. *Principais fontes a serem consultadas*: demarcação dos bancos de dados a serem consultados e que nesta pesquisa são referentes à consulta em meio digital através da *Current Bibliography da Revista Isis*, da *Taylor & Francis Online*; do *The British Journal for the History of Science*, do *Bulletin for the History of Chemistry* e do *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Também foram adotadas como critérios de busca as referências contidas nos trabalhos obtidos, pois poderiam remeter-se a trabalhos não identificados nesses bancos de dados, como orienta Martins (2005).
- iv. *Parâmetro cronológico a ser adotado*: definição do período temporal em que as obras foram coletadas e que consiste no período “Faraday”, além de relatos científicos desse cientista ou de seus contemporâneos, assim como fontes secundárias sobre seus constructos teóricos e o contexto sócio-histórico.

A segunda etapa na análise dos artigos obtidos através da Pesquisa Bibliográfica é a Análise Explicativa das Soluções e da Relevância do conteúdo para o estudo, e foi realizada com base na leitura, visando identificar, no material selecionado, as relações e a consistência

dos dados com o tema, e, desse modo, aumentar o grau de compreensão do material (LIMA; MIOTO, 2007). O nível de profundidade e atenção ao material foi intensificado a cada leitura, tendo-se como lente orientadora os constructos de Faraday e sua relação com a Natureza Elétrica da Matéria. Ao final do processo foram selecionados 19 artigos através da Pesquisa Bibliográfica, os quais estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Fontes consultadas e respectivos artigos extraídos de cada uma.

Fonte	Artigos Selecionados
Current Bibliography da Revista Isis	Cantor (1998); Gooding (1978); McCabe e Thomas (1991).
Taylor & Francis Online	Faraday (1840b; 1846; 1855; 1844);
The British Journal for the History of Science	Heimann (1971); Levere (1968).
Bulletin for the History of Chemistry	James (1991); Stock (1991).
Philosophical Transactions of the Royal Society of London.	Faraday (1833a; 1833b; 1833c; 1834a; 1834b; 1840a; 1840c; 1843).

Para a análise dos arquivos que irão compor as categorias, foi utilizada a Análise de Conteúdo como metodologia complementar. Por fim, foi realizada a *síntese integradora*, composta pelo resultado final do processo de investigação, resultante da análise e da reflexão feitas sobre os documentos, com base nos referenciais teóricos adotados nesta pesquisa e no posicionamento do pesquisador diante dos dados obtidos. A síntese integradora, apresentada no capítulo quatro, apresenta as relações existentes entre o material coletado e o referencial teórico em que o estudo se fundamentou, sendo que tal relação se encontra presente nas discussões das categorias e constitui a base de sustentação da hipótese apresentada, qual seja, a de que a relação entre fenômenos elétricos e estrutura da matéria é verdadeira e já pode ser pensada à luz dos constructos de Michael Faraday.

2.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO COMO FERRAMENTA DE INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE

Tendo em vista a necessidade de análise de um conjunto de dados que respondam de modo satisfatório ao objetivo desta pesquisa, foi definida a Análise de Conteúdo como ferramenta de análise, segundo Bardin (1977). O método atribui fidedignidade às inferências do pesquisador diante dos dados, bem como uma leitura mais fecunda e mais produtiva, permitindo confirmar ou refutar a(s) hipótese(s) através de um conjunto de procedimentos organizados, o qual busca extrair o significado latente contido na mensagem escrita, falada ou visual. A mensagem é o ponto de partida da Análise de Conteúdo, um método intrinsecamente empírico e dependente das características da mensagem do tipo de interpretação que se deseja realizar, não existe uma receita pronta em que resultados pré-definidos irão ser obtidos, pelo contrário, o método consiste em um conjunto de regras de base que são intransponíveis, um conjunto de procedimentos de análise das comunicações que utiliza processos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens num nível que vai além de uma leitura comum (BARDIN, 1977).

A Análise de Conteúdo desenvolve-se por meio de três procedimentos: pré-análise; exploração do material, e tratamento dos resultados, inferência e interpretação. A primeira etapa consiste na organização dos processos que serão desenvolvidos durante a análise, fase denominada de *Pré-Análise*, uma vez que consiste na organização propriamente dita, através de um conjunto de buscas iniciais no material a ser analisado, bem como na sistematização das operações que serão desenvolvidas, envolvendo, geralmente, a definição quanto à escolha dos documentos, à formulação de hipóteses e/ou objetivos e à busca por indicadores que fundamentem a interpretação. A Pré-Análise se iniciou com a *Leitura Flutuante*, primeiro contato com o material para conhecer o texto e as mensagens contidas nele, aumentando, com isso, o grau de aprofundamento à medida que as leituras foram acontecendo; realizada essa leitura preliminar, realizou-se a *Escolha dos Documentos* que iriam compor a análise. Os documentos selecionados constituem o *Corpus*, conjunto de documentos que serão submetidos aos procedimentos de análise, a escolha foi realizada obedecendo-se às regras de:

- i. *Homogeneidade*: os documentos foram selecionados com base em critérios semelhantes, ou seja, deveriam ser obtidos por fontes e descritores padrão anteriormente definidos, assim como conter discussões sobre Faraday.

- ii. *Exaustividade*: todos os elementos do corpo de análise foram considerados, ou seja, todos os artigos coletados através da Pesquisa Bibliográfica foram incorporados ao *software* WebQDA, lidos na íntegra e incorporados à análise.
- iii. *Pertinência*: os documentos obtidos deveriam fornecer informações correspondentes ao problema de estudo.

Antes de realizar a Análise de Conteúdo, definiu-se um plano de coleta e análise das mensagens contidas no *Corpus*, a seleção das unidades analíticas e as categorias, ou seja, um plano que permitisse a correlação entre teoria, coleta, análise e interpretação; o próximo passo refere-se à definição da *Unidade de Análise*, a qual pode ser desmembrada em *Unidade de Registro* e *Unidade de Contexto*. A *Unidade de Registro* é a menor parte do conteúdo cuja frequência é registrada. Aqui, foi delimitado o *Tema* como a menor unidade a ser identificada, consistindo em uma asserção sobre um determinado assunto, que pode ser desde uma pequena sentença, um conjunto delas ou um parágrafo, entretanto essa unidade não é dissociável da Unidade de Contexto. A *Unidade de Contexto*, por sua vez, é a parte mais ampla do conteúdo a ser analisado e necessária à interpretação das Unidades de Registro, visto que imprime o contexto de construção da mensagem e pode ser considerada como a unidade básica para a compilação das Unidades de Registro em um conjunto homogêneo de significados, fixando limites contextuais para interpretá-las. Nesta pesquisa, definimos como Unidade de Registro o tema, que se constitui em uma afirmação (frase) acerca de um assunto.

Para o tratamento dos dados, utilizou-se o *software* WebQDA, programa informático destinado à investigação qualitativa que proporciona inúmeras vantagens em relação à investigação sem recurso a um *software* ou a outros programas específicos. Acerca disso, ressalta-se que a utilização de *software* na análise proporciona maior confiabilidade e praticidade à análise. Com o WebQDA, por exemplo, foi possível editar, organizar, codificar os documentos e criar as categorias, assim como questionar os dados quanto à sua relação com a questão problema pela possibilidade de “idas e vindas” ao material.

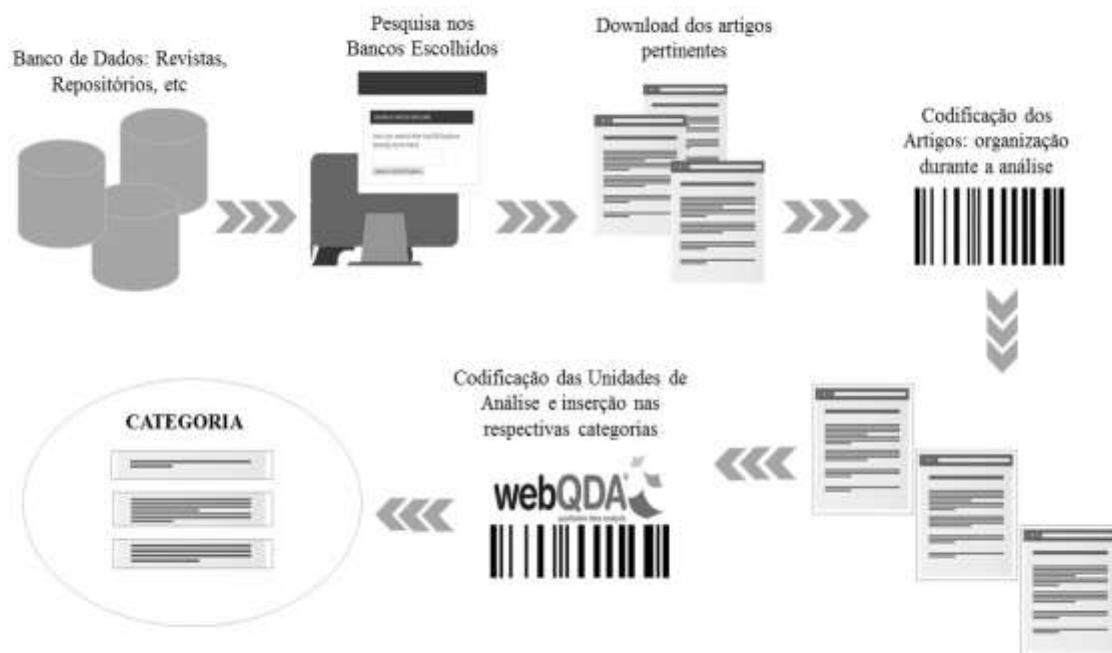


Figura 1: Processo de coleta e codificação do material obtido através da Pesquisa Bibliográfica.

Fonte: o autor.

Estabelecidos a Unidade de Análise e o esboço da Pré-Análise, realizou-se o processo de Categorização. Assim como a definição da *Unidade de Registro*, as categorias podem emergir da leitura dos textos durante a análise ou podem ser definidas *a posteriori*; para esse último caso, a escolha ocorre por meio de indicadores predeterminados em função da busca por uma resposta a uma pergunta específica proposta pelo investigador. Nesta dissertação, as categorias foram definidas *a posteriori* com base na Abordagem Contextual proposta por Matthews (1995), são elas: (1) Mecanismos que teorizam a constituição da matéria; (2) Composição da matéria e sua relação com a eletricidade; (3) Controvérsias entre Ideias/Teorias; e (4) Influências externas na produção do conhecimento científico (contexto social, político, econômico ou religioso).

A categorização é um processo de operação e classificação de elementos por diferenciação seguida de reagrupamento com base em critérios previamente definidos (BARDIN, 2016). As categorias (1) e (2) emergiram das concepções dos estudantes que apresentam ideias alternativas ao conhecimento científico em relação à natureza e mobilidade dos íons; já as categorias (3) e (4) surgiram dos debates sobre a Abordagem Contextual e se referem às controvérsias que permearam o desenvolvimento dos estudos sobre Natureza

Elétrica da Matéria e ao contexto sócio-histórico de Faraday. Para que boas categorias fossem elaboradas, as seguintes regras foram obedecidas:

- a. *Exclusão mútua*: cada unidade de análise foi enquadrada em apenas uma categoria, uma vez que um mesmo dado não pode estar contido em mais de uma categoria;
- b. *Homogeneidade*: cada categoria foi estruturada em uma única dimensão de análise ou “variável”, pois todas as unidades contidas em uma categoria estão inter-relacionadas;
- c. *Pertinência*: as categorias devem vislumbrar as intenções da investigação;
- d. *Objetividade*: se trechos do material a ser investigado forem submetidos a sucessivas análises com base no mesmo conjunto de categorias, as inserções nas categorias devem permanecer as mesmas;
- e. *Produtividade*: as categorias produzem novos índices de inferências ou novas hipóteses.

As etapas finais do processo são a *Inferência* e a *Interpretação*, que corresponderam à produção de um texto síntese com o conjunto de significados presentes nas diversas unidades e incluídas em cada uma das categorias através do uso de citações diretas extraídas dos materiais analisados, mostrando qual o significado de cada categoria e dos motivos para que as respectivas unidades de análise estivessem contidas nelas, assim como interpretações e inferências com respaldo nos referenciais teóricos em que se ancora o estudo – a descrição e discussão das categorias. O processo é descrito na Figura 1.

2.3 LEVANTAMENTO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS EM ELETROQUÍMICA POR INTERMÉDIO DE PESQUISAS ACERCA DO TEMA

Definindo como segundo objetivo específico realizar levantamento das concepções sobre estrutura da matéria e fenômenos eletroquímicos, optamos pela busca por pesquisas que tenham desenvolvido Revisão de Literatura acerca do tema proposto. Empreendeu-se uma busca na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), disponível no endereço eletrônico <http://bdtb.ibict.br/vufind/>, esse banco de dados agrega e difunde, em um só portal de busca, os textos na íntegra de teses e dissertações defendidas nas instituições brasileiras de ensino e pesquisa, contribuindo para o acesso e aumento de conteúdos de teses e dissertações brasileiras na *internet*, bem como maior visibilidade da produção científica nacional.

A escolha pela busca de trabalhos com esse viés permitiu a redução no tempo de pesquisa tendo em vista que o fato de estes levantamentos já terem sido realizados, a busca por pesquisas que já tenham realizado tal levantamento com base nos critérios adotados nos fornece um panorama suficiente quanto as Concepções Alternativas em eletroquímica. Segundo Vosgerau e Romanowski (2014), os estudos de revisão consistem em organizar, esclarecer e resumir as principais obras identificadas acerca do tema investigado. Utilizando como descritor de busca *Concepções AND Eletroquímica* obtivemos três dissertações e uma tese cuja estrutura de discussão teórica apresentava levantamento acerca de estudos sobre Concepções Alternativas em Eletroquímica e depois de leitura flutuante para identificar as referências a tais estudos, eles foram extraídos, lidos e incorporados a discussão como apresentado no Capítulo 5.

Como resultado da pesquisa no BDTD obtivemos uma tese e três dissertações que possuíam relação com o estudo de Concepções Alternativas relacionadas ao tema eletroquímica e que em seu corpo teórico realizam revisão sobre o tema. A tese selecionada tem como título, “Relação Existente entre a Metavizualização e as Representações Simbólica e Submicro na Elaboração de Atividade em Química”, é de autoria da pesquisadora Solange Wagner Locatelli e foi publicada no ano de 2016, o objetivo proposto foi compreender em que medida a abordagem em sala de aula de uma estratégia metavizual, pode auxiliar na (re)construção de ideias, especificamente numa atividade introdutória de eletroquímica.

Quanto as dissertações, destaca-se o estudo do pesquisador Michell Henrique de Bragança, com o título “Concepções de Egressos da Licenciatura em Química sobre Eletroquímica” e publicada no ano de 2013, cujo objetivo foi investigar as concepções de professores egressos da licenciatura em química, na cidade de Uberlândia (MG), sobre o ensino de eletroquímica. A segunda dissertação identificada tem como título “Atividades Experimentais no Ensino Médio: Reflexão de um grupo de professores a partir do tema eletroquímica”, publicada no ano de 2004 e de autoria da pesquisadora Viviani Alves de Lima, que investigou quais as reflexões emergem sobre sua prática docente quando os professores investigados se envolvem em atividades experimentais investigativas. Por fim, cabe destacar a dissertação da pesquisadora Ana Fukui, cujo título é “Átomo e Corrente Elétrica: imagens, imaginações e devaneios em sala de aula”, publicada em 2002, que teve como foco refletir a importância de discutir os conceitos de átomo e corrente elétrica com os estudantes, tendo como eixo organizador alguns aspectos cognitivos dos sujeitos. O conjunto

de artigos identificados na revisão sobre Concepções Alternativas sobre eletroquímica das pesquisas descritas estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Pesquisas consultadas através do BDTD e respectivos trabalhos identificados na revisão realizada por cada autor.

Dissertação/Tese	Artigos Identificados
Locatelli (2016)	Schnetzler e Rosa (1988); Rosenthal e Sanger (2012); Schmidt, Marohn e Harrison (2007); Barke (2012); Hamza e Wickman (2008).
Bragança (2013)	Niaz e Chacón (2003); Sanger e Greenbowe (2000); Sanger e Greenbowe (1997a, b); Garnett e Treagust (1992a, b).
Lima (2004)	Bueso, Furió-Mas e Teixidó (1988); Garnett e Treagust (1992a, b); Ogude e Bradley (1994); Posada (1997); Sanger e Greenbowe (1997a, b); Rogers, Huddle e White (2000); Niaz (2002); Özkaya (2002).
Fukui (2002)	Posada (1993); Harrison e Treagust (1996); Harrison e Treagust (2000).

Além dos artigos descritos na Tabela 2 destacamos a nível nacional Fukui e Pacca (1999); Caramel e Pacca (2011); França, Marcondes e Carmo (2009); Mortimer (1995) e Pacca e colaboradores (2003). Após o levantamento dos artigos contidos na revisão presentes nas pesquisas obtidas através da BDTD, os artigos foram analisados por meio da Análise de Conteúdo proposta por Bardin (1977) como desenvolvido para os artigos oriundos da Pesquisa Bibliográfica sobre Michael Faraday. Por já termos descrito o procedimento de Análise de Conteúdo, não iremos apresentá-lo na íntegra novamente. Em síntese, a Análise de Conteúdo se iniciou com a *Leitura Flutuante*, para conhecer os textos e as mensagens contidas neles. Bardin (1977) orienta que seja definida a *Unidade de Análise* a ser considerada – *menor unidade a ser extraída do texto* – foi o *Tema*, que consistiu em uma asserção sobre um determinado aspecto do assunto investigado, ou seja, desde uma pequena sentença, um conjunto delas ou um parágrafo.

Para o tratamento desses dados, também utilizamos como ferramenta auxiliar o *software* WebQDA, durante a etapa de categorização, etapa em que ocorreu o agrupamento das unidades temáticas analisadas em suas respectivas categorias, elaboradas *a posteriori* com base nos pressupostos apresentados nas categorias contextuais acerca de Michael Faraday, tendo em vista que o objetivo proposto foi estabelecer possíveis aproximações com os constructos teóricos de Faraday e as concepções dos estudantes. As categorias foram definidas *a posteriori* com base no levantamento das concepções dos estudantes, a saber: (1) Estrutura da matéria; (2) Formação e caracterização da entidade íon; (3) Condutibilidade elétrica e; (4) Corrente elétrica.

3. POR UMA ABORDAGEM CONTEXTUAL DA NATUREZA ELÉTRICA DA MATÉRIA: INVESTIGANDO MICHAEL FARADAY

Definido como um dos objetivos específicos investigar quais as possíveis contribuições de Michael Faraday para a interpretação de modelos sobre a natureza elétrica da matéria, iremos apresentar neste capítulo o resultado da Pesquisa Bibliográfica que permitiu a construção de categorias que buscam abordar as dimensões sociais e conceituais dos constructos teóricos desse estudioso. Como discute Bardin (1977), as Unidades de Análise fundamentam e justificam as categorias construídas, assim como as Unidades de Contexto imprimem as características que definem cada categoria. A Figura 2 apresenta a Unidade de Contexto pertencente a cada uma das categorias, definidas *a posteriori* com base no levantamento das concepções dos estudantes e na Abordagem Contextual proposta por Matthews (1995).

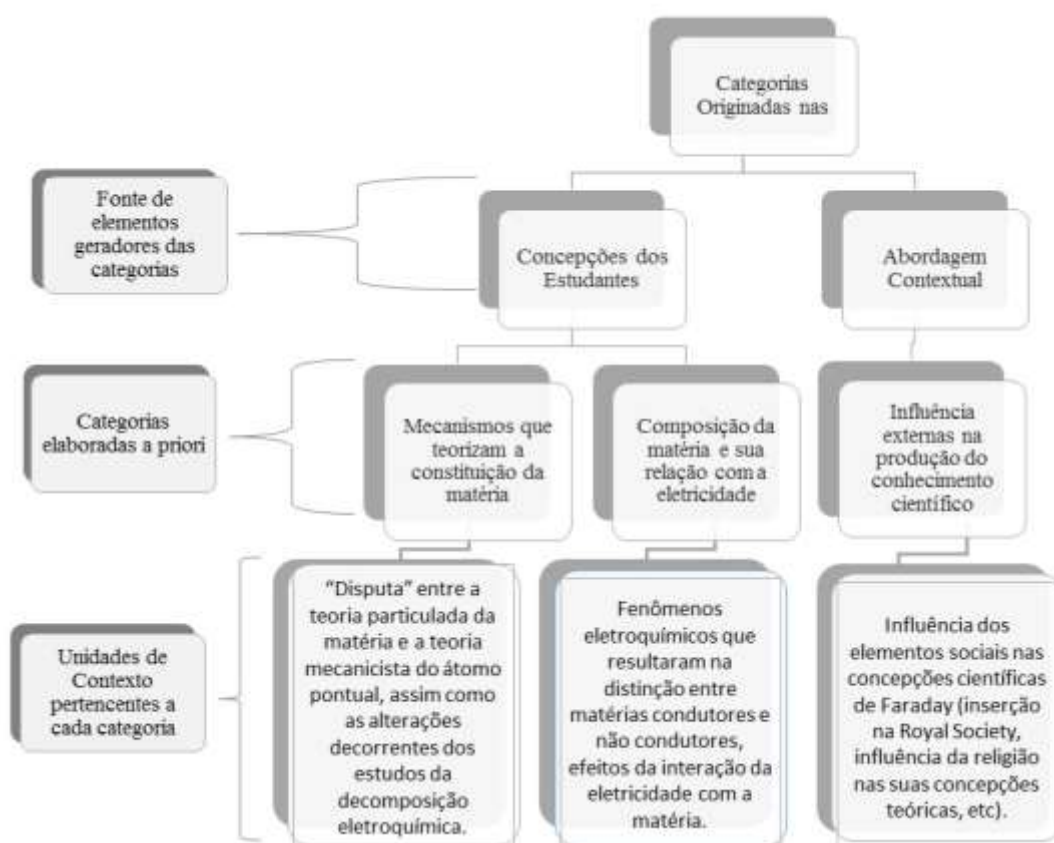


Figura 2: Processo de elaboração das categorias.

Fonte: o autor.

Fornecer elementos sócio-históricos e conceituais passíveis de inserção no Ensino de Ciências foi o critério norteador na elaboração das categorias. Como discute Matthews

(1995), a HC não deve ser mais uma disciplina do currículo escolar, e os elementos sócio-históricos que permeiam a construção do conhecimento científico devem ser inseridos em conjunto com a abordagem dos conteúdos. O estudo de Episódios Históricos fornece informações fundamentais para as discussões sobre a NdC, pois os elementos resultantes da HC proporcionam uma visão ampla e dinâmica do processo de construção do conhecimento científico (ANJOS; JUSTI, 2015; SILVA; MOURA, 2008). Nesse sentido, propomos a elaboração de categorias que possibilitam enriquecer a discussão dos elementos conceituais sobre Estrutura da Matéria e Eletricidade, bem como dos elementos sociais, tendo como ponto de referência norteador da discussão os constructos de Michael Faraday.

O posicionamento apresentado pelos referenciais teóricos sobre HC e suas contribuições para o Ensino de Ciências, assim como os questionamentos quanto à inserção “tímida” da HC nas abordagens de sala de aula, e, em especial, a Abordagem Contextual proposta por Matthews (1995), nortearam a construção das categorias descritas nesta seção. As reflexões oriundas da revisão da literatura revelam a deficiência que os estudantes possuem ao estabelecerem um modelo de matéria “compatível” com um modelo de geração e movimentação das cargas – em meio aquoso (íons) ou em materiais condutores (por exemplo, metais).

Desse modo, as categorias buscam expor tanto os elementos internos da Ciência que se referem a critérios teóricos e experimentais, assim como elementos externos que correspondem à influência dos aspectos sociais e religiosos, os quais também influenciam a atividade científica. Segundo Martins (2006), ambos devem estar presentes nas discussões sobre Ciência e possibilitam uma visão mais coerente e completa desse campo do saber, por isso tais categorias podem enriquecer atividades de ensino pautadas na HC através da Abordagem Contextual.

A primeira categoria é intitulada *Influências Externas na Produção do Conhecimento Científico* e demonstra a influência de elementos sociais nas concepções científicas de Faraday, em especial sua inserção na principal instituição científica da época (a Royal Society) e a influência de suas crenças religiosas nas suas concepções científicas. A segunda categoria, *Mecanismos que Teorizam a Constituição da Matéria*, discute a “disputa” entre a teoria particulada da matéria, derivada da filosofia mecanicista, e a teoria atômica, e como Faraday filia-se à teoria corpuscular e faz oposição à teoria atômica, bem como sua mudança para o átomo pontual de Bosovich; por fim, apresentamos a categoria *Composição da*

Matéria e sua Relação com a Eletricidade, a qual aborda os debates em torno dos fenômenos eletroquímicos que resultaram na distinção entre materiais condutores e não condutores, dos efeitos da interação da eletricidade com a matéria, além dos possíveis mecanismos responsáveis pela formação de novas substâncias no processo de eletrólise.

3.1 INFLUÊNCIA EXTERNA NA PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

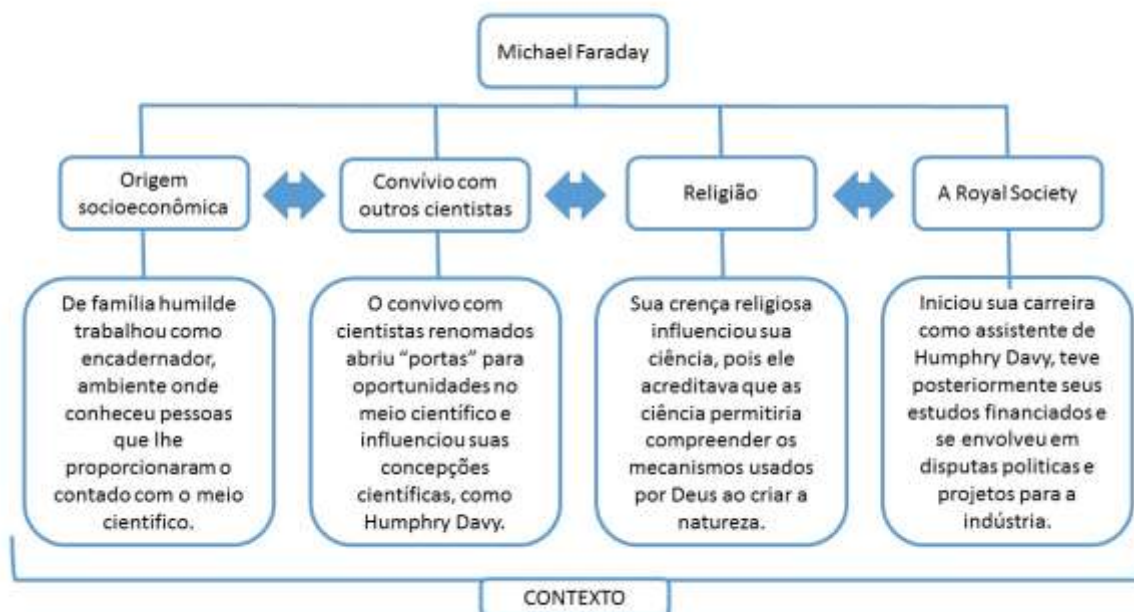


Figura 3: Síntese dos elementos sócio-histórico intrínsecos ao contexto de Faraday.

Fonte: o autor.

Uma das questões levantadas pela AC é a inserção dos aspectos sociais relacionados à construção do conhecimento científico, uma espécie de problematização do quanto questões “fora” da Ciência tencionam o desenvolvimento dela própria e vice-versa. Oki e Moradillo (2008), assim como Moura (2014), discutem que a concepção que se tinha sobre a Ciência enquanto conhecimento imutável, produzido por gênios e a partir de observações experimentais rigorosas hoje tem dado lugar à ideia de Ciência enquanto atividade humana que é influenciada pelo tecido social em que se encontram imersos seus sujeitos produtores. Diante do exposto, esta dissertação abordará como primeira categoria a Influência Externa na Produção do Conhecimento Científico.

Para que possamos nos situar no contexto sócio-histórico de Michael Faraday, destaca-se o esboço biográfico produzido por Baldinato e Porto (2008), que permite vislumbrar um panorama da vida de Michael Faraday (1791-1867), filho de James Faraday e

Margaret Hastwell, viveu e desenvolveu seus trabalhos em Londres nas regiões situadas à margem do rio Tâmesa. Apesar da pouca formação acadêmica, aprendeu a ler e a realizar algumas operações matemáticas e, aos 14 anos, foi contratado como aprendiz de encadernador, e o contato com manuscritos e livros que transportava foi ferramenta crucial para alcançar suas ambições, tendo influenciado sua inclinação para a ciência. Ao assistir às conferências de Sir Humphry Davy, a convite de um cliente da livraria, produziu um conjunto de anotações que foram enviadas ao próprio Davy e que continham anexado um pedido de emprego, o qual foi aceito.

Ainda segundo Baldinato e Porto (2008), em 1821 casou-se com Sarah Barnard, com a qual não teve filhos e, nesse mesmo ano, realizou suas primeiras conferências, recebendo o título de membro honorário da Royal Society, em 1824, e tendo sido recomendado por Humphry Davy para sucedê-lo na coordenação do laboratório da Royal Institution, cujo cargo foi ocupado em 1825. Faraday aposentou-se da carreira científica em 1858 e morreu no ano de 1867, em Londres, aos 75 anos de idade.

Destacar a biografia de Faraday serve apenas para contextualizar o momento histórico, visto que é necessário apresentar e discutir o tecido social em que Faraday estava inserido, buscando abordar como essa esfera da vida humana tencionou os estudos desse cientista. Moura (2014) destaca que os aspectos externos à ciência influenciam a construção e consolidação do conhecimento científico, na medida em que a “atividade científica” se encontra imersa nesse contexto e sofre influência das questões sociais.

Como destacado nos recortes CB_04 e CB_02 a seguir, algumas oportunidades foram significativas para o contato de Faraday com a ciência, em especial seu emprego de encadernador, uma vez que lhe proporcionou acesso ao conhecimento científico produzido. O outro meio possível seriam as palestras proferidas como atrações ao público e que também fizeram parte do cotidiano de Faraday, em especial o contato com os estudos elétricos, fato também destacado por Baldinato e Porto (2008). A dinâmica em que o conhecimento científico era apresentado ao público pode ter influenciado o interesse de Faraday por esse campo do saber, na medida em que os resultados dos estudos (em especial, os estudos em eletricidade) eram um espetáculo para o público.

O interesse precoce de Faraday pela ciência chegou ao conhecimento de um de seus clientes, um membro da Royal Institution, o Sr. Dance, que na Primavera de 1812 lhe deu ingressos para participar do último curso de

palestras de um renomado homem da ciência e professor residente de Química na Royal Institution, Sir Humphry Davy (MCCABE; THOMAS, 1991, p.133, tradução nossa).

Não sendo de família rica, ele treinou como um encadernador, mas ficou entusiasmado com a ciência, participando de palestras e experimentando aparelhos elétricos simples. Por acaso, recebeu ingressos para participar de quatro palestras de Humphry Davy na Royal Institution. Ele pegou notas copiosas, ligou-as e enviou-as para Davy. Impressionado pelas habilidades do jovem Faraday, Davy contratou-o quando ele precisava de um assistente (CANTOR, 1998, p.121, tradução nossa).

Entretanto, existem fatores da dimensão humana que são característicos da personalidade de um indivíduo, pois bem, podemos inferir que ousadia e empenho eram traços marcantes da personalidade de Faraday. Aliadas a esses fatores, destacam-se as oportunidades que surgiram no decorrer de sua infância, pois foram essenciais para sua ascensão à carreira na ciência. A proximidade de Faraday com a literatura científica marcou sua ascensão, em especial seu interesse pela leitura dos clássicos científicos da época, como destacado nas unidades CB_04 a seguir.

Faraday leu avidamente com o Sr. Riebau, em particular artigos sobre eletricidade na Enciclopédia Britânica e leu as Conversas da Sra. Marcet em Química. Em 1810, ele compareceu às conferências científicas do senhor John Tatum na cidade (MCCABE; THOMAS, 1991, p.133, tradução nossa).

A Sra. Jane Marcet era esposa de Alexandre Marcet, um eminente médico e químico da sociedade londrina; devido ao grande prestígio de que gozava seu esposo, ela se tornou membro do círculo literário e científico da época e conheceu muitos cientistas influentes, como Humphry Davy, Auguste de la Rive e outros, bem como teve acesso e leu suas obras (ARMSTRONG, 1938). Em 1805, ela publicou anonimamente o livro *Conversations on Chemistry*, em que buscava apresentar os elementos da ciência química através da descrição de experiências para o público em geral, proporcionando a divulgação da ciência química.

Uma vez inserido no ambiente científico, os “caminhos” de Faraday foram abertos para a conquista de suas ambições, tendo em vista que a Royal Institution era uma das principais instituições dedicadas à ciência da época. Pode-se inferir que outro aspecto favorável ao desenvolvimento de Faraday como notável pesquisador foi a convivência com alguns dos mais renomados cientistas, em especial com Humphry Davy, cujas ideias tiveram

influência significativa nas suas pesquisas. Essa dimensão social é retratada no recorte CB_04.

[...] Davy fez um tour de dezoito meses pelo continente acompanhado por Michael Faraday como seu assistente, secretário e criado. Faraday se beneficiou plenamente da experiência de conhecer homens da ciência famosos, notadamente Volta, Ampère, Arago, De La Rive, Dumas, Pictet e Gay Lussac (MCCABE; THOMAS, 1991, p.135, tradução nossa).

Como apontam Baldinato e Porto (2008), Faraday e Davy viajaram e conheceram os principais pesquisadores e as linhas de atuação científica da época, trabalhando em um dos laboratórios mais bem equipados da Europa, podendo desenvolver variado aparato experimental e pesquisa em diversos campos da ciência, em especial o estudo dos fenômenos elétricos e condutividade de soluções. Faraday se destacou pela capacidade como experimentador, teórico e divulgador da ciência.

Cabe destacar também o papel da Royal Institution para o contexto da época, na medida em que se firmou como um espaço dedicado ao desenvolvimento e progresso da ciência, financiando o desenvolvimento de diversos estudos. Como argumentam Driver e colaboradores (1999), o conhecimento científico e socialmente compartilhado é o resultado do esforço coletivo da comunidade científica para interpretar e julgar as proposições; nesse contexto, o ambiente proporcionado pela Royal Institution é significativo por possibilitar o intercâmbio de ideias e debates, além da divulgação do conhecimento científico. Cabe destacar também seu papel socioeconômico para o contexto da época, enquanto financiadora dos integrantes da comunidade científica, entre eles Faraday. Outro aspecto marcante é a prestação de serviços à indústria, pois impactavam a si mesma e a sociedade. Os trechos CB_04 e BHC_04 apresentam a dimensão socioeconômica da empresa científica:

Em seu retorno na primavera de 1815, Faraday foi reeleito na Royal Institution como assistente do sucessor de Davy, W. T. Brande, mas também ajudou Davy em sua invenção da lâmpada de segurança dos mineiros, realizada na Royal Institution dentro de apenas uma questão de semanas (MCCABE; THOMAS, 1991, p.135, tradução nossa).

[...] designaram a fabricante de vidro de Pellatt e Green para construir um forno para o projeto e pediram a Faraday para analisar quimicamente o vidro produzido – o tipo de trabalho que Faraday faria normalmente no curso de seu trabalho de consultoria química da Royal Institution (MCCABE; THOMAS, 1991, p.37, tradução nossa).

Na unidade BHC_04 a seguir, destaca-se também o papel do financiamento na pesquisa científica, mostrando que a ciência está intrinsecamente relacionada não só ao contexto social, mas também econômico, tendo em vista que o financiamento da pesquisa tem forte influência de interesses da indústria. Nesse contexto, destaca-se também a influência política inerente às disputas por cargos dentro das instituições científicas.

Devido às dificuldades financeiras da Instituição Real, a qual era completamente dependente do ponto de vista econômico, Faraday não estava em condições de se recusar a participar no prolongamento do projeto [construção de forno para produção de vidro] se este implicasse um apoio à Instituição Real (MCCABE; THOMAS, 1991, p.37, tradução nossa).

Faraday também se destacou pelo seu papel de divulgador da ciência. Segundo Baldinato e Porto (2008), sua importância está registrada nos documentos que descrevem suas palestras na Royal Institution; aliados a esses elementos encontram-se também os relatos dos ouvintes que descrevem sua eloquência, afetividade e agilidade na apresentação de experimentos ilustrativos e na capacidade de atrair a atenção do público. Os recortes CB_04 e BHC_04 retratam essa dimensão de Faraday.

Faraday foi responsável pela iniciação em 1826 das Leituras de Natal para o público juvenil, bem como dos Discursos da Sexta-feira para os membros da Royal Institution e seus convidados (MCCABE; THOMAS, 1991, p.137, tradução nossa).

[...] ele iniciou os discursos de sexta-feira à noite, as palestras de Natal para os jovens e, em geral, esforçou-se para ajudar a instituição real a sair da difícil posição financeira em que se encontrava. No entanto, seus deveres na Royal Institution requeriam tempo suficiente para fazer pesquisas (MCCABE; THOMAS, 1991, p.37, tradução nossa).

Martins (2006) e Moura (2014) ressaltam que a compreensão da atividade científica pode ser potencializada pela apresentação dos elementos internos à ciência e que dizem respeito aos argumentos teóricos e às evidências experimentais disponíveis na época; assim como pelos elementos externos à ciência e que se referem às questões sociais, culturais e religiosas que permeiam os cientistas e os influenciam, posicionamento esse que vai ao encontro das ideias de Matthews (1995) quando propõe a Abordagem Contextual. Referindo-se a outros elementos concernentes às questões externas à ciência, a religião possui presença

marcante no pensamento de Faraday. Os recortes CB_02 e BJHS_01 a seguir destacam a dimensão religiosa do seu pensamento:

Para Faraday, o objetivo da pesquisa científica era descobrir leis, como ele escreveu; em uma de suas palestras mais conhecidas, as “leis da natureza, como as entendemos, são a base do nosso conhecimento das coisas naturais” (CANTOR, 1998, p.123, tradução nossa).

Deus tem prazer em trabalhar em sua criação material por leis, e essas leis são evidenciadas pela constância dos personagens da matéria e pela constância dos efeitos que ela produz (LEVERE, 1968, p.105, tradução nossa).

A adesão de Faraday a um seguimento religioso tem origem em sua família, haja vista que os cientistas não estão alheios às influências da formação intelectual e social oriundas de seu seio familiar. Como destaca o recorte CB_02 a seguir, Faraday desde criança já estava inserido em um contexto religioso fortemente doutrinário, devido à influência da adesão de seu pai à seita denominada “Sandemanianos”:

Seu pai, que veio de perto de Clapham, em Yorkshire, pertencia a uma pequena seita cristã chamada Sandemanianos. Este grupo dissidente data de um cisma na Igreja da Escócia na década de 1720 e que no final do século 18, criou várias capelas, principalmente na Escócia, no norte da Inglaterra e Londres (CANTOR, 1998, p.121, tradução nossa).

Para Faraday, as leis que governavam a natureza eram uma construção divina, e a ciência seria encarregada de desvendar os mecanismos em que a vontade de Deus se manifestava, além de que as ideias que não estivessem de acordo com os preceitos divinos eram consideradas incoerentes cientificamente. Como destacam Martins (2006) e Silva e Moura (2008), a ciência é uma entre tantas outras formas de explicar os fenômenos, e a religião se constitui como outra maneira de compreender a natureza, e, na medida em que a ciência não é neutra, tais elementos (científicos e espirituais) podem coexistir. Logo, os valores defendidos pela comunidade religiosa da qual Faraday fazia parte influenciaram sua postura social e suas crenças teóricas como destaca o trecho CB_02:

Como um cristão sandemaniano, ele idealizou seu papel na comunidade científica como uma extensão natural de seus valores religiosos. Além disso, sugere-se que ele entendia o universo físico como uma economia natural

divinamente ordenada; assim, sua ciência foi direcionada para determinar o modo como Deus criou o universo (CANTOR, 1998, p.121, tradução nossa).

Como último elemento externo à elaboração dos constructos teóricos de Faraday, destacamos a influência de aspetos relacionados ao bem-estar físico e que interferiram na sua atividade científica. A realização de pesquisas, viagens, documentação de resultados e atividades políticas ou de prestação de serviços exige uma disposição física e mental requerida a qualquer indivíduo em suas atividades diárias. O recorte CB_04 a seguir destaca a saúde de Faraday (nasceu em 1791 e faleceu em 1867):

No início da década de 1840, Faraday sofreu uma queda na saúde e foi obrigado a diminuir a quantidade de trabalho. Desde cedo, ele se queixou de lapsos de memória e, portanto, seu hábito de manter registros meticulosos de suas experiências, tentativas, falhas e sucessos lhe serviram bem e provaram ser um tesouro para as sucessivas gerações de cientistas (MCCABE; THOMAS, 1991, p.137, tradução nossa).

A discussão dessa categoria não retrata de forma completa todos os elementos da dinâmica social da vida de Michael Faraday, mas são elementos que proporcionam um vislumbre do panorama social da ciência e de seus “atores”, em especial deste cientista, pois é difícil, se não impossível, uma descrição fiel e completa de tudo aquilo que envolve o fazer ciência. A visão da ciência enquanto conhecimento produzido por gênios e resultante de um método rígido e algorítmico (método da descoberta) é uma visão não mais aceita; Moura (2014) argumenta que os cientistas utilizam imaginação, crenças pessoais e influências externas na construção de suas concepções teóricas, isto é, eles não estão alheios ao contexto de que fazem parte e nunca estão livres de influências externas. Assim, os elementos expostos permitem inferir o quanto Faraday foi influenciado pelo seu contexto sócio-histórico.

3.2 MECANISMOS QUE TEORIZAM A CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA

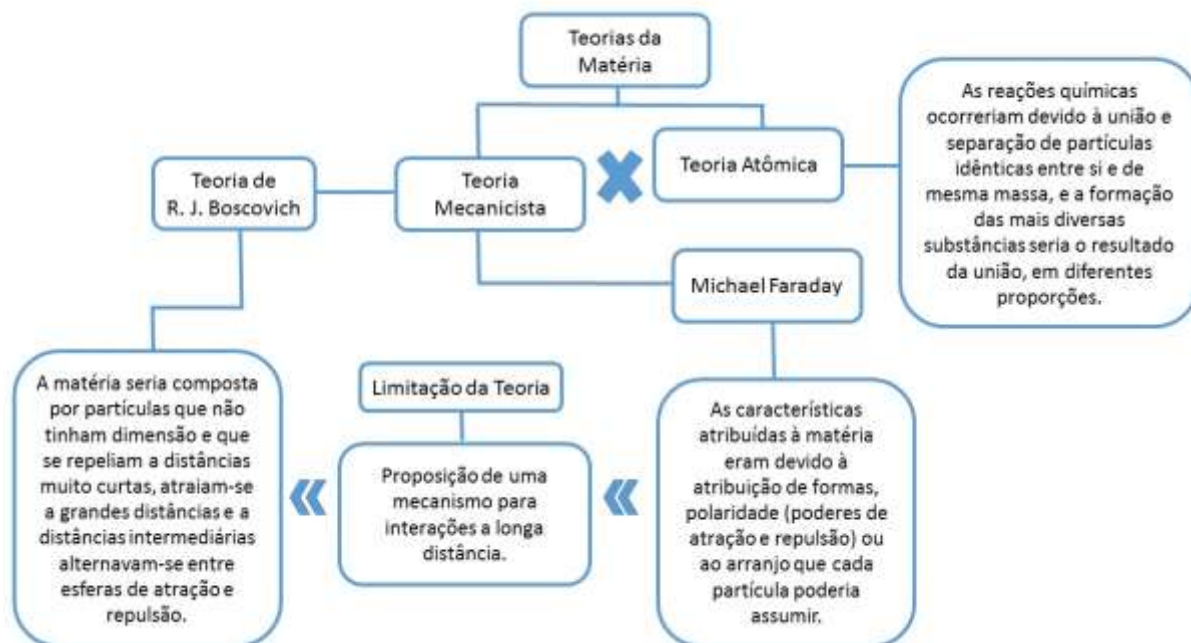


Figura 4: Panorama das discussões sobre modelos da matéria.

Fonte: o autor.

A segunda categoria a ser discutida diz respeito aos modelos que no contexto sócio-histórico de Faraday buscavam compreender os mecanismos em que a matéria manifestava seus fenômenos. Moura (2014), Oki e Moradillo (2008), assim como Silva e Moura (2008), argumentam que um dos aspectos consensuais sobre a NdC é que a ciência está em constante transformação e que a atividade científica e os produtos dela oriundos (teorias, modelos, leis) são o resultado de um processo de debate, proposição de críticas e sucessivas (re)elaborações teóricas, assim o conhecimento não é uma verdade absoluta e que deve ser aceita sem contestações, mas, sim, um conhecimento em constante reconstrução. É nesse contexto que propomos discutir essa categoria.

Segundo Duncan (1988), o século XVIII foi um período em que os químicos alcançaram prestígio significativo como um “ramo” da filosofia da ciência, mas ainda possuíam boa parte dos seus atores vinculados à filosofia física, que estava consolidada na ciência e era considerada a detentora dos parâmetros que permitiriam a compreensão das leis da natureza, sendo alguns dos nomes influentes Aristóteles, Newton, Boscovich e Davy. Durante esse período, os químicos sentiam a necessidade de que os físicos os auxiliassem na interpretação dos fenômenos, através da transposição dos constructos teóricos da filosofia

física para a filosofia química; tal necessidade seria o reflexo da gama de pesquisas e avanços que surgiram na química durante esse período e que os químicos necessitavam compreender (DUNCAN, 1988; KNIGHT, 1966).

Uma das vertentes da filosofia física tinha como base a Teoria Aristotélica dos Elementos, cujo modelo defendia que as propriedades de uma substância seriam uma mistura das propriedades dos elementos que a compõem; entretanto, as propriedades dos elementos eram muito diferentes das apresentadas pela união das partículas para formar uma substância (DUNCAN, 1988). Outros sentiram a necessidade de adotar a Filosofia Mecânica, segundo a qual o mecanismo em que as reações ocorriam seria explicado pelo comportamento de partículas imperceptíveis, e desenvolveram uma teoria em que as características atribuídas à matéria eram devido à atribuição de formas, polaridade (poderes de atração e repulsão) ou ao arranjo que cada partícula poderia assumir (DUNCAN, 1988; KNIGHT, 1966). O termo partícula, corpúsculo ou molécula era utilizado pelos adeptos da filosofia mecanicista para se referirem a uma pequena “porção” de matéria, e é nesse sentido que iremos usar tais termos quando nos referimos às ideias de Faraday, pois inicialmente ele aderiu à teoria mecanicista, como destacado no recorte BJHS_03:

Com cautela característica, deixou claro que ele não estava propondo uma teoria atômica como tal, pois era “zeloso pelo termo átomo, pois embora seja muito fácil falar de átomos, é muito difícil formar uma ideia clara de sua natureza”. No entanto, falar de partículas da matéria era bastante diferente – o termo “partícula” não implica indivisibilidade, por exemplo – e argumentou que “embora não saibamos nada do que é um átomo, ainda não podemos resistir de formar alguma ideia de uma pequena partícula, e o que representa para a mente”, e mais tarde usaria o termo “molécula” (HEIMANN, 1971, p.238, tradução nossa).

Como discute Martins (2006), os cientistas formulam hipóteses a partir de ideias que podem não ter qualquer fundamento, baseiam-se em analogias vagas, têm ideias preconcebidas ao fazerem suas observações e experimentos, constroem teorias provisórias que podem ser até mesmo contraditórias, defendem suas ideias com argumentos que podem ser fracos e até irracionais, discordam uns dos outros e disputam entre si para tornar suas ideias válidas ou convencer uma parte significativa da comunidade científica.

No lado oposto, encontravam-se aqueles químicos que buscavam uma filosofia autônoma com seus parâmetros próprios de interpretação dos mecanismos e leis que governavam a matéria. Um idealizador da filosofia química autônoma foi Joseph Louis Proust

(1754-1826), por meio de sua teoria das “Proporções Definidas”, a qual foi alvo de duras críticas por parte daqueles que eram adeptos da teórica mecanicista, principalmente devido à oposição à existência de partículas indivisíveis e à conservação da massa em uma reação. Outro defensor da teoria atômica foi John Dalton (1766-1844), que propôs uma filosofia em que as mudanças químicas ocorreriam devido à união e separação de partículas que compõem as substâncias, como os vários ácidos, bases e metais; os elementos de um mesmo átomo seriam idênticos entre si e de mesma massa, e a formação das mais diversas substâncias seria o resultado da união, em diferentes proporções, dos elementos que compõem a matéria (KNIGHT, 1966; DUNCAN, 1988).

Considerando a ciência e sua transitoriedade de ideias, como discutido por Moura (2014) e Martins (2006), as controvérsias são mecanismos inerentes à construção do conhecimento científico, pois tornam perceptível o papel do debate e das objeções que impulsionam as (re)avaliações das teorias em um processo impregnado tanto pelos fatores internos à ciência quanto pelos fatores externos. Podemos enquadrar esse debate na taxonomia de controvérsia mais comum, a *Controvérsia de Teoria*, que ocorre quando duas ou mais teorias são apresentadas para explicar os mesmos fenômenos (NARASIMHAN, 2001). Apresentado em linhas gerais o contexto teórico, buscaremos inserir Faraday nesse panorama, assim como a linha de pensamento em que seus constructos teóricos estavam inseridos, além das possíveis mudanças em seu pensamento.

Como destacado no recorte TFO_05_F, as convicções teóricas de Faraday estavam voltadas para o modelo corpuscular da matéria, sua oposição é marcada pela não aceitação da existência de partículas com características mensuráveis, tendo em vista que a teoria atômica postulava a existência de entidades tão pequenas e diversas, e, segundo ele, os mecanismos responsáveis pela origem de tantas substâncias não poderiam ser previstos.

A minha visão da constituição atômica da matéria predomina sobre aquela que considera o átomo como algo material com um certo volume, e que tem poderes maravilhosos de criação, que tem gerado, daquele tempo ao presente, a capacidade de constituir, quando muitos átomos são reunidos em grupos, as diferentes substâncias cujos efeitos e propriedades observamos (FARADAY, 1844, p.136, tradução nossa).

Outra vertente da teoria mecanicista foi elaborada por Roger Joseph Boscovich (1711-1787), que teorizou que a matéria seria composta por átomos pontuais (que seriam pequenas porções de matéria) que não tinham dimensão e que se repeliam a distâncias muito

curtas, atraíam-se a grandes distâncias e a distâncias intermediárias alternavam-se entre esferas de atração e repulsão, assim as partículas seriam meros pontos que ocupam lugar no espaço (DUNCAN, 1988). A noção de interação a longas distâncias iria influenciar os construtos de Faraday, entretanto, nos anos iniciais de suas pesquisas, ele não considerou os elementos da teoria de Boscovich e fundamentou seus princípios nos postulados gerais da teoria mecanicista, como destacado no trecho BJHS_03 a seguir:

Faraday avançava, portanto, a uma visão física do estado eletrônico no qual ele imaginava que a matéria estava sujeita à tensão elétrica, levando a um estado de polaridade nas moléculas e, por polaridade, significava estados elétricos opostos em diferentes partes das moléculas. Esta teoria está de acordo com uma teoria particulada da matéria que é perfeitamente compreensível sem recorrer ao atomismo Boscovicheano (HEIMANN, 1971, p.139, tradução nossa).

A principal oposição de Faraday à teoria atômica era a suposição da descontinuidade da matéria, e, como a teoria corpuscular tinha como ponto principal a interação entre os corpos para que fosse possível a ocorrência da transformação química, a interação devido à atração ou repulsão entre as cargas era um fator importante. A noção de interação tinha origem na teoria da gravidade de Newton (meanicista), ou seja, a força era inversamente proporcional ao quadrado das distâncias e quanto maior a distância, menor seria a força resultante, essa interação entre corpos celestes foi transposta para os constituintes da matéria (DUNCAN, 1988; KNIGHT, 1966). Como a matéria apresenta um nível de coesão muito forte, a existência de espaços não seria um modelo satisfatório, e, no recorte TFO_05_F, Faraday expõe algumas das percepções sobre a teoria atômica e seu desacordo com a percepção macroscópica da matéria.

[...] tome o caso de um metal, platina ou potássio, constituído, de acordo com a teoria atômica, da mesma maneira. O metal é um condutor; mas isso pode acontecer, exceto se o espaço for um condutor? Pois é a única parte contínua do metal, e os átomos não se tocam (pela teoria), e como veremos atualmente, deve ser assumido como um meio de separação considerável. O espaço, portanto, deve ser um condutor, ou então os metais não poderiam conduzir, mas estarão na situação da cera de vedação preta referida há pouco. Mas se o espaço for um condutor, como então o shell-lac, o enxofre, podem ser isolantes? Pois o espaço os permeia em todas as direções. Ou se o espaço for um isolante, como um metal ou outro corpo similar pode ser condutor? (FARADAY, 1844, p.138, tradução nossa)

Outro aspecto da teoria atômica que não corroborava com a concepção de matéria de Faraday era o mecanismo de condução, pois, segundo ele, seria o resultado da propagação da indução da polaridade através da interação entre partículas adjacentes. Uma questão surge em meio às suas concepções teóricas, a relação entre materiais isolantes e condutores. Se fosse admitida a descontinuidade da matéria e ela tivesse efeitos sobre a condução dos materiais, por que alguns materiais conduzem enquanto outros não? Quais os mecanismos possíveis? O recorte TFO_05_F, a seguir, apresenta o posicionamento de Faraday quanto a essa questão:

Portanto, a matéria será contínua e, ao considerar uma massa, não devemos supor uma distinção entre seus átomos e qualquer espaço de intervenção. Os poderes em torno dos centros dão a esses centros as propriedades dos átomos da matéria; e novamente estes poderes, quando muitos centros são agrupados em uma massa, dão a cada parte dessa massa as propriedades da matéria. Em tal visão, toda a contradição resultante da consideração do isolamento elétrico e da condução desaparece (FARADAY, 1844, p.142, tradução nossa).

Assim, para Faraday a matéria é contínua em toda a sua extensão e não se deve supor a existência de espaços, pois, se considerarmos uma porção qualquer de matéria, a união de tais corpúsculos dá as características intrínsecas a cada material devido à interação das forças, que são resultantes da influência mútua entre uma partícula e suas vizinhas mais próximas. Portanto, ele considerou que, se existem compostos isolantes e condutores, suas características dependem da forma como tais corpúsculos se unem, e as substâncias condutoras exibem tal capacidade devido a um arranjo característico, enquanto os materiais isolantes exibem um arranjo que os impede de conduzir.

A interação entre as moléculas estava relacionada às atrações e repulsões resultantes da polaridade que aquelas podem adquirir, cargas de sinais opostos seriam responsáveis pela atração enquanto cargas de mesmo sinal seriam responsáveis pelo afastamento das partículas. Logo, o que Faraday chama de “estado de tensão” podemos inferir como sendo a produção ou condução de forças mecânicas ou elétricas devido à polaridade. A propagação da ação elétrica ocorreria através da indução de partículas vizinhas através de um mecanismo de adjacência, ou seja, uma molécula excitada tem a capacidade de induzir o mesmo efeito em moléculas próximas e assim o efeito se perpetua ao longo do material. Essa inferência pode ser feita com base no recorte BJHS_03 a seguir:

Ele argumentou que a tensão não era transmitida pela ação à distância, mas que “o efeito inicial de um corpo excitado (eletricamente) sobre matérias vizinhas” era a produção de um estado polarizado de suas partículas, que constitui a indução, e isso surge de sua ação sobre as partículas que estão em contato imediato com ela, que agem de novo sobre as adjacentes a elas, e assim as forças são transferidas por uma distância” (HEIMANN, 1971, p.241, tradução nossa).

Para explicar o processo de condução, Faraday o relacionou com o termo adjacência, já que sua teoria da propagação da ação elétrica ou mecânica estava relacionada à interação entre uma partícula e suas “vizinhas” mais próximas. Faraday inseriu em sua teoria uma relação entre condução e intensidade e expressou que todos os materiais apresentam um grau de condução característico e que permite definir os condutores dos não condutores, ou seja, quanto mais intensa a ação e propagação das interações entre as partículas, maior seria o poder de condução, e o inverso resultaria em um material isolante. O recorte BJHS_03 corrobora com tal apontamento:

Sua teoria supunha que todas as partículas, sejam de matéria isolante ou condutora, fossem “como condutores inteiros”, podendo ser polarizadas pela influência de partículas carregadas vizinhas. A diferença entre a condução e o isolamento não era devido aos modos de comunicação da força, mas devido à taxa de comunicação da força de partícula para partícula. Quando as forças eram prontamente comunicadas entre as partículas adjacentes, ocorria a indução, e, quando a comunicação das forças era difícil, ocorria o isolamento (HEIMANN, 1971, p.241, tradução nossa).

Apesar de Faraday não admitir a descontinuidade da matéria, alguns fatos contribuíam para que tal posicionamento fosse repensado. A compressão ou exaço de certos materiais devido à aplicação de pressão, calor ou uma redução da temperatura eram fatores que colaboravam para algumas incoerências da teoria mecanicista e a inexistência de espaços na matéria. Como destacado no trecho TFO_05_F, na sequência, Faraday então supõe que existem espaços intermediários, o que permite compreender os fenômenos da matéria sem recorrer a um modelo descontínuo da matéria.

Estes, embora agrupados e juntos por seus poderes, não se tocam, mas têm espaço intermediário, caso contrário, a pressão ou o frio não poderiam fazer com que um corpo se contraísse a um volume menor, nem o calor ou a tensão o tornar-se-iam maiores; em líquidos, esses átomos ou partículas devem se mover um em relação ao outro, e em vapores ou gases também estão presentes, mas se deslocam muito separadamente, embora ainda

relacionados uns com os outros pelos seus poderes (FARADAY, 1844, p.136, tradução nossa).

É importante destacar que há um longo caminho na aceitação das ideias tanto pela comunidade científica quanto pelo próprio cientista, visto que os modelos não surgem do nada, são construídos ao longo do tempo à medida que prós e contras são apresentados, e as ideias mais coerentes segundo os critérios adotados acabam se consolidando, e isso passa pela defesa dos seus adeptos diante da comunidade científica (MOURA, 2014; MARTINS, 2006).

No decorrer da elaboração de sua teoria, alguns elementos o fizeram questionar e repensar seus constructos teóricos, considerando sua forte rejeição à adesão de uma teoria particulada da matéria. Faraday então buscou elementos que permitissem continuar em seu programa experimental sem a necessidade de recorrer a um programa que não fosse pautado nos parâmetros da teoria mecanicista, tendo encontrado em Boscovich os argumentos necessários para continuar com suas concepções, propondo algumas alterações em sua teoria. O principal entrave à sustentação das ideias de Faraday era a existência de materiais condutores e isolantes, pois, apesar de propor uma noção para essa diferenciação, como discutido anteriormente, tais elementos foram insuficientes para que novas críticas não fossem postas. As unidades BJHS_01 e TFO_05_F demonstram a conversão de Faraday à teoria do átomo pontual de Boscovich:

Assim, nos condutores elétricos, o espaço entre os átomos teria que funcionar como um condutor, enquanto nos isoladores o mesmo espaço se comportaria necessariamente como um isolante. Para evitar esse paradoxo (que Berzelius e muitos outros atribuíram à ignorância da natureza da eletricidade), Faraday propôs adotar o que ele acreditava ser o ponto de vista de Boscovich. Estes tiveram a vantagem de tornar o mundo contínuo, e dissolveram a dicotomia apresentada pelos átomos e o vazio (LEVERE, 1968, p.100, tradução nossa).

[...] os átomos de Boscovich me parecem ter uma grande vantagem sobre a noção mais usual. Seus átomos, se entendendo corretamente, são meros centros de forças ou poderes, não partículas de matéria, nas quais os próprios poderes residem (FARADAY, 1844, p.140, tradução nossa).

Como aponta Moura (2014), a ciência não apresenta provas incontestáveis, mas, sim, modelos a respeito do mundo natural que são embasados em um arcabouço de ideias, metodologias e pressupostos da ciência. Ao desenvolver seus estudos em eletromagnetismo, Faraday identifica uma oportunidade de compreender os mecanismos de condução, onde

agora a suposição da existência de espaços na matéria é derrubada, segundo ele, devido à existência de campos de força que preenchem todo o espaço entre as partículas e promovem a interação à longa distância. E, mais uma vez, suas ideias se modificam no decorrer dos debates à medida que novos elementos são inseridos. Ele adotou a concepção de que a matéria era composta por átomos pontuais, mas acrescentou que as perturbações eram propagadas através de linhas de força, como destacado por BJHS_03. Entretanto, não é nosso objetivo adentrar nessa vertente da pesquisa de Faraday.

Distinguimos uma dicotomia conceitual no pensamento de Faraday entre suas primeiras teorias, que se baseavam no conceito de polarização de partículas e seu trabalho posterior, que se baseava no conceito de preferência de linhas de força. Ao avaliar as razões de Faraday para desenvolver seus argumentos na “Especulação”, suas ideias teóricas podem ser delineadas e sua contribuição para as origens da teoria de campo podem ser estimadas (HEIMANN, 1971, p.237, tradução nossa).

Diante dos elementos apresentados, destacamos que o debate entre distintas visões de mundo foi intenso, representando um período de disputa pública e persistente guiada por divergências e arcabouços teóricos considerados consistentes por seus defensores, principalmente entre os mecanicistas e os atomistas. Foi um processo que, segundo Narasimhan (2001), é característica intrínseca à Ciência e pode ser definida como uma *Controvérsia*, uma disputa pública que persiste devido a divergências quanto a um arcabouço teórico considerado significativo por um grupo de cientistas, possuindo como características: persistir durante um período de tempo; sinalizar o desejo dos participantes de demonstrar a boa base de suas reivindicações “epistêmicas” em defesa de um conjunto de ideias; e envolvimento ativo da comunidade científica.

Faraday estava envolto nessa disputa e permaneceu cético quanto à teoria particulada da matéria. Em suas concepções teóricas, a noção da existência de partículas que seriam indivisíveis, a existência de espaços na matéria e a sua crença religiosa foram os principais pontos para sustentar sua oposição. As bases em que Faraday se apoiou foram válidas para seu contexto de pesquisa e proporcionaram avanços fundamentais para a teoria eletroquímica, em especial os mecanismos de condução e a relação quantidade de matéria e eletricidade, elementos que norteiam a terceira categoria.

3.3 COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA E SUA RELAÇÃO COM A ELETRICIDADE

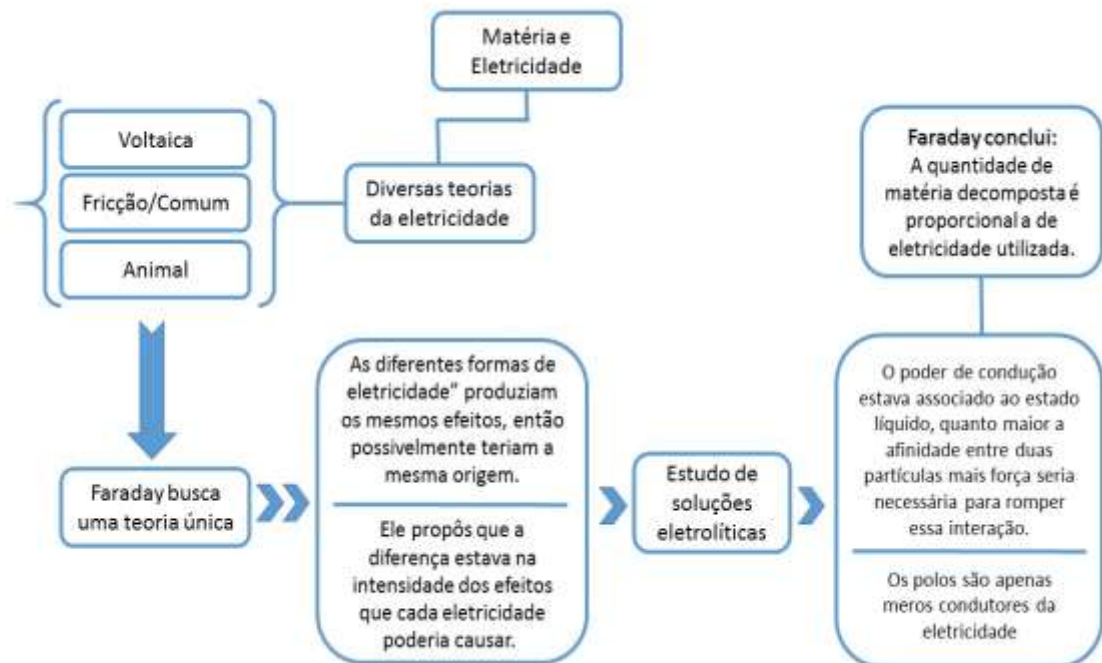


Figura 5: Painel das discussões sobre a relação entre matéria e eletricidade.

Fonte: o autor.

No contexto de Faraday, várias teorias sobre a eletricidade foram propostas e estavam relacionadas à matéria, em especial os resultados oriundos dos fenômenos de eletrólise que impulsionaram a pesquisa nessa área e envolveram o engajamento de uma parte significativa da comunidade científica, a qual buscava o esclarecimento quanto à origem desse fenômeno, aos prováveis mecanismos e à distinção entre materiais condutores e não condutores (OKI, 2000). Foi um período de debate que pode ser enquadrado nos modelos de Controvérsia Teoria proposta por Narasimhan (2001); aqui iremos nos deter aos debates que contribuíram para compreender a natureza elétrica da matéria, mas sem perder de vista os constructos teóricos debatidos na categoria anterior, pois eletricidade e matéria foram dois campos que convergiram.

Alguns cientistas da época buscaram uma definição única de eletricidade, como destacado no recorte RSP_03_F. Nomes de prestígio, como Cavendish e Wollaston, buscaram reunir elementos que corroborassem com a redução das contradições que existiam entre as diferentes eletricidades (principalmente as eletricidades comum, voltaica, animal), de modo que pudessem construir uma teoria homogênea.

É perfeitamente verdade que CAVENDISH, WOLLASTON e outros eliminaram algumas das maiores contradições ao reconhecimento da identidade da eletricidade comum, animal e eletrolítica, e acredito que os filósofos geralmente consideram essas eletricidades como semelhantes (FARADAY, 1833a, p.23, tradução nossa).

Por ser um fenômeno relacionado à matéria e como havia grupos que aderiram a bases filosóficas distintas (filosofia aristotélica, filosofia mecânica, filosofia química, etc.), as investigações resultaram em teorias com características distintas, sendo que, no primeiro momento, a busca pela unificação das teorias elétricas em uma base comum contribuiu para a diversidade de modelos sobre eletricidade. Driver e colaboradores (1999) discutem que um determinado arcabouço de conhecimento não se estabelece enquanto a comunidade científica não entra em acordo sobre sua validade, e isso se torna parte da forma não problemática de ver as coisas. Assim, as ideias sofrem todo um processo de debate e aceitação e, quando aceitas pela maioria, constituem-se nos símbolos da ciência que são utilizados para explicar os fenômenos da natureza.

Para Faraday, só havia uma única forma de eletricidade, então desenvolveu pesquisas que tinham como objetivo a construção de uma teoria única, partindo do seguinte princípio: se as “diferentes formas de eletricidade” como a voltaica e comum (obtida por fricção) produziam os mesmos efeitos, então possivelmente teriam a mesma origem. Como essas “eletricidades” produziam os efeitos mais perceptíveis, eram as mais investigadas, e Faraday concedeu maior atenção a elas, como destacado na unidade RSP_05_F:

Tenho nas séries recentes dessas pesquisas (265.) provado (para minha própria satisfação, pelo menos) a identidade da eletricidade derivada de diferentes fontes, especialmente ao me deparar com as provas de semelhança daquelas obtidas pelo uso da máquina elétrica comum e da bateria voltaica (FARADAY, 1833c, p.675, tradução nossa).

A eletricidade voltaica produzida através da pilha construída por Alessandro Volta contribuiu para o avanço desse campo de estudo, pois possibilitou a produção de uma corrente elétrica com intensidade e duração superiores à eletricidade comum, como destacado no recorte BHC_02. Por eletricidade comum, Faraday nos aponta sua origem na unidade RSP_03_F:

Embora as histórias da química e da eletricidade remontem aos tempos antigos, a eletroquímica, como a conhecemos hoje, não começou até 1800, quando foi publicado o relato de Volta sobre a chamada “pilha”. Esta proporcionou, pela primeira vez, uma fonte de eletricidade contínua, razoavelmente estável e comparativamente grande (STOCK, 1991, p.86, tradução nossa).

Por eletricidade comum eu entendo o que pode ser obtido da máquina comum, ou da atmosfera, ou por pressão, ou clivagem de cristais, ou por uma infinidade de outras operações; seu caráter distintivo é grande intensidade e a ação de poderes atrativos e repulsivos, não meramente a distâncias sensíveis, mas a distâncias consideráveis (FARADAY, 1833a, p.29, tradução nossa).

Em seu programa experimental, o elemento que permitiria unificar as diferentes formas de eletricidade em um postulado único foi comparar os seus efeitos e pontuar as similaridades entre ambas. A ciência não se desenvolve por um método algorítmico e infalível, a construção das ideias depende da argumentação e da discordância de fatos, teorizações e crenças uns dos outros, havendo lutas entre si para impor ideias (DRIVER et al., 1999; NARASIMHAN, 2001; MARTINS, 2006). O recorte RSP_03_F, a seguir, apresenta os efeitos comuns entre esses dois mecanismos de produção de eletricidade:

Os vários fenômenos exibidos pela eletricidade podem, para efeito de comparação, serem organizados sob dois pontos; nomeadamente aqueles ligados à eletricidade de tensão [comum] e aqueles que pertencem à eletricidade em movimento [voltaica] [...] Os efeitos da corrente elétrica podem ser considerados como: 1º Produção do Calor; 2º Magnetismo; 3º Decomposição Química; 4º Fenômenos Fisiológicos, e 5º Faíscas. Será meu objetivo comparar a eletricidade de diferentes fontes, e especialmente a eletricidade comum e voltaica, pelo seu poder de produzir esses efeitos (FARADAY, 1833a, p.25, tradução nossa).

O argumento utilizado para unificar a eletricidade foi a intensidade dos efeitos, pois, segundo Faraday, apesar de produzirem fenômenos semelhantes – como a atração e repulsão entre as partículas, decomposição e formação de novas substâncias –, os resultados não eram suficientemente próximos para que se pudesse inferir que eram oriundos de uma mesma forma de eletricidade. O principal parâmetro de comparação eram os fenômenos perceptíveis e mensuráveis, como a produção de gás ou deposição de material no recipiente; numa tentativa de ajustar os resultados, ele propôs que a diferença estava na intensidade dos efeitos que cada eletricidade poderia causar, como Faraday expressa na unidade RSP_03_F:

A conclusão geral que, a meu ver, deve ser extraída dessa coleção de fatos é que a eletricidade, seja qual for a fonte principal, é idêntica em sua natureza. Os fenômenos nos cinco tipos ou espécies citados diferem não em seu caráter, mas apenas em grau; e a esse respeito variam em proporção às circunstâncias variáveis de quantidade e intensidade, o que, com prazer, pode ser alterado em quase qualquer um dos tipos de eletricidade (FARADAY, 1833a, p.40, tradução nossa).

Com esses elementos, não queremos enfatizar que a construção do conhecimento não ocorre através de um conjunto de etapas pré-definidas estritamente, através das observações experimentais ou vice-versa; a relação entre teoria e experimento é complexa, e a observação feita pelo cientista não é imparcial, mas carrega consigo as concepções e expectativas de quem observa, e, apesar de não existir uma relação bem definida entre ambos, são importantes na construção do conhecimento científico (MOURA, 2014; SILVA; MOURA, 2008). A ciência não apresenta provas incontestáveis, mas, sim, modelos a respeito do mundo natural que são embasados em um arcabouço de ideias, metodologias e pressupostos da ciência.

Iniciemos uma análise do estudo de soluções capazes de conduzir eletricidade, pois influenciaram significativamente a construção da teoria eletroquímica. Como expresso no recorte TFO_03_F que se segue, uma das incógnitas que intrigavam os investigadores era a forma em que tais eletrólitos (Faraday cunhou esse termo no decorrer de seus estudos sobre a condutividade de soluções) se encontravam em solução e como eles contribuíam para os efeitos de condutividade elétrica, bem como o que os diferenciava daqueles que não proporcionavam tal efeito:

[...] tornou-se uma questão saber se os corpos que formam a classe dos eletrólitos são condutores apenas enquanto estão passando por uma mudança adequada devido à ação da corrente elétrica; ou se eles podem se tornar assim como os metais e a madeira seca em diferentes graus, sem o acompanhamento de qualquer alteração química em seu interior (FARADAY, 1855, p.98, tradução nossa).

Segundo Faraday, o poder de condução estava associado ao estado líquido e às características da partícula de matéria utilizada, e uma dessas características ele denominou de facilidade e se referia às “afinidades” entre as partículas que compõem a molécula, pois quanto maior a afinidade entre duas partículas mais força seria necessária para romper essa interação. Cabe ressaltar que a teoria da afinidade química era baseada na filosofia corpuscular e permeava os argumentos teóricos de Faraday. O processo de condução estaria

associado à água, que teria o seu grau de condutibilidade aumentado à medida que alguma impureza fosse adicionada a ela. O poder de condução e a influência da adição à água são expressos respectivamente nos recortes TFO_03_F, RSP_05_F:

A condução eletrolítica está intimamente associada ao estado líquido, com a natureza composta e as proporções químicas dos corpos em que ocorre, e é considerada como variando em grau (facilidade) com as afinidades dos constituintes desses corpos; existem, no entanto, outras circunstâncias que, evidentemente, e muito fortemente, afetam a rapidez da transferência, como a temperatura e a presença de matéria estranha (FARADAY, 1855, p.99, tradução nossa).

É a opinião de vários filósofos que a presença de água é essencial na decomposição eletroquímica e também para a produção da eletricidade pela própria bateria voltaica [...]. A opinião, portanto, de que a água é necessária para a decomposição pode ter sido fundada na declaração feita por Sir HUMPHRY DAVY, de que “não há fluidos conhecidos, exceto tais como água, que podem ser transformados em um meio de conexão entre os metais e o aparelho voltaico; e, novamente, quando qualquer substância produzida por calor, consistindo em água, oxigênio e matéria inflamável ou metálico, estão expostas a esses fios, ocorrem fenômenos semelhantes (de decomposição)” (FARADAY, 1833c, p.681, tradução nossa).

A condutividade estaria associada ao estado das partículas ao serem dissolvidas em água, e Faraday propôs uma diferenciação quanto aos materiais sólidos condutores. Ele teorizou que a eletricidade causa no eletrólito uma mudança na estrutura da partícula e quanto maior a interação maior o seu poder de condução. Os argumentos de Faraday possivelmente foram influenciados pela teoria de Davy, uma vez que propôs que a eletricidade é produzida pelo processo ambíguo e constante de restauração do equilíbrio elétrico; para ele, a água era importante quando alguma impureza que pudesse reagir com o metal, o motivo estava na bipolaridade que a água pode assumir, tendo em sua molécula dois polos opostos que conduzem a corrente em qualquer direção (RUSSEL, 1959).

Aqui podemos identificar uma controvérsia com outra teoria posta na época, a Teoria da Dissociação eletrolítica proposta por Svant Arrhenius (1859-1927). Ao investigar a condutibilidade elétrica das soluções e a causa desse efeito, ele concluiu que as propriedades de uma solução estariam associadas ao comportamento dos sais em água, pois as suas partículas são formadas por duas partes que se dissociam pelo processo de dissolução em água, uma positiva e outra negativa (radicais), e a dissociação era a condição para a condutibilidade ocorrer, e o grau de condução estaria associado ao grau de dissociação,

quanto mais dissociado maior a condutibilidade da solução, enquanto as soluções que não conduzem eram devido a não dissociação (ARRHENIUS, 1912).

Segundo Faraday, nos materiais sólidos condutores, como os metais, a interação com a eletricidade não causa nenhuma alteração na estrutura do material, e a condução ocorreria segundo os mecanismos de propagação da força através da matéria. A sua concepção sobre a condução dos eletrólitos e dos materiais sólidos é destacada no recorte TFO_03_F:

O primeiro tipo de condução é distinguido como eletrolítico, a transferência da força elétrica parece estar essencialmente associada às mudanças químicas que ocorrem; o segundo tipo pode ser chamado de condução propriamente dita, e aí o ato de condução deixa o corpo, como ele o encontrou (FARADAY, 1855, p.99, tradução nossa).

Os mecanismos de decomposição e condução propostos não apresentavam uma forma universal, diferentes teorias e mecanismos foram apresentados na tentativa de explicar como ocorria a formação de novas substâncias através do processo de decomposição eletroquímica. O recorte BHC_02 descreve o mecanismo de De la Rive, que compreendia a formação de novas substâncias como resultado da interação de duas correntes elétricas, uma positiva e outra negativa, em que cada uma estaria associada à formação de substâncias nos respectivos polos através de uma espécie de interação das partículas resultantes da decomposição com seu polo correspondente:

De la Rive reconsiderou a ação eletroquímica durante a década de 1820. Ele postulou que a corrente que flui do polo positivo ataca as moléculas próximas, agarrando seu hidrogênio da água, ou sua base, ou as moléculas de sais, se for o caso. O oxigênio ou ácido é deixado para trás, enquanto a corrente positiva carrega a substância com a qual está unida ao polo negativo. Esse condutor de metal não pode admitir a substância transportada, de modo que o hidrogênio ou a base são liberados quando a eletricidade entra no polo negativo. A corrente inversa atua analogamente sobre o oxigênio ou ácidos nas moléculas próximas ao polo negativo (STOCK, 1991, p.87, tradução nossa).

Para ilustrar a diversidade de mecanismos, destacamos também a proposta de Johann Wilhelm Ritter e Grotthuss. Ritter que construiu um aparato experimental para investigar o trânsito das substâncias formadas durante o processo de eletrólise; é interessante destacar o papel criativo e da construção de aparatos que possibilitassem a aferição de unidades que constituem elementos favoráveis às teorias propostas, nesse caso a substância

produzida e a relação com os polos do aparelho. Como descrito no recorte BHC_02, a seguir, ele elaborou um tubo em forma de V que permitiu a separação das substâncias formadas em seus respectivos polos, então sugeriu que a formação ocorria através de um mecanismo de quebras e recombinações entre partículas de moléculas adjacentes devido à interação da eletricidade com a matéria:

Em 1801, Johann Wilhelm Ritter [...] usou tubos em forma de V para reexaminar a eletro-decomposição da água [...] para explicar o fato de que os gases só aparecem nos polos, teorizou que a água mais a eletricidade positiva gerava oxigênio, enquanto a água mais a eletricidade negativa gerava hidrogênio. O hidrogênio e oxigênio produzido pela quebra dessa molécula [água] não escapariam, mas atacariam moléculas adjacentes. A produção dos gases somente nos polos seria explicada por um mecanismo de abstração semelhante a uma cadeia (STOCK, 1991, p.86, tradução nossa).

Para Grotthuss, o mecanismo responsável pela formação de novas substâncias é devido à polaridade que a substância pode assumir, polaridades positiva e negativa em uma mesma estrutura; as moléculas, que são consideradas por ele como centros de força, podem atrair-se ou repelir-se e originar novas combinações e consequentemente novas substâncias, como apresentado no recorte RSP_05_F, para o caso específico da água:

GROTTHUS, por exemplo, descreve os polos como centros de forças atrativas e repulsivas (481.), essas forças variando inversamente com os quadrados das distâncias e diz, portanto, que uma partícula colocada entre os polos irá agir por uma força constante. Mas a força composta, resultante de uma combinação, como ele supõe, seria qualquer coisa menos uma força constante; evidentemente, seria uma força maior nos polos e que diminui em distâncias intermediárias (FARADAY, 1833c, p.690, tradução nossa).

Faraday buscou não só unir em um mesmo fenômeno as teorias da eletricidade, mas também unir em um só mecanismo os fenômenos de decomposição eletroquímica. Segundo ele, os mesmos fenômenos poderiam ser obtidos através tanto da eletricidade comum quanto da eletricidade voltaica, e, ao contrário de cientistas como Ritter, De la Rive e Grotthuss, que acreditavam que tais efeitos eram o resultado da interação entre os polos e as partículas, Faraday teorizou que as alterações são provocadas no interior das moléculas eletrolisadas. Assim, a corrente provocaria o enfraquecimento da afinidade entre as partículas que constituem a molécula, e os polos serviriam apenas como condutores da eletricidade, como descrito nas unidades RSP_05_F e BHC_02:

Passando à consideração da decomposição eletroquímica, parece-me que o efeito é produzido por uma ação corpuscular interna, exercida de acordo com a direção da corrente elétrica, e que é devido à força adicionada ou devido a uma direção comum a afinidade química dos corpos presentes [...] e é porque a afinidade química comum é aliviada, enfraquecida ou parcialmente neutralizada pela influência da corrente elétrica em uma direção, paralela ao curso desta última, e reforçada ou adicionada na direção oposta, que as partículas combinadas têm tendência para seguir cursos opostos (FARADAY, 1833c, p.696, tradução nossa).

Faraday observou que “... os efeitos da decomposição pareceriam depender mais de um alívio da afinidade química em uma direção e uma exaltação da mesma na outra” (23). Em seguida, os elementos de um composto devem se separar e, em seguida, combinar com partículas vizinhas, nas linhas do mecanismo sugerido por Grotthuss (STOCK, 1991, p.89, tradução nossa).

Havia uma concepção generalizada de que a ação ocorria nos polos e por influência deles, mas, para Faraday, esse não era o mecanismo provável, visto que o aparecimento das substâncias nos polos não significaria que eles seriam os responsáveis pelos efeitos. Ele teorizou que os polos são apenas meros condutores da eletricidade e estabeleceu os termos eletrodo positivo e negativo para indicar a carga que cada um adquire e como essa carga está relacionada à espécie química formada. As unidades RSP_07_F e RSP_08_F retratam essa dimensão da teoria de Faraday:

Os polos, como geralmente são chamados, são apenas as portas ou formas pelas quais a corrente elétrica passa para dentro e para fora do corpo em decomposição (556.); e, é claro, quando estão em contato com esse corpo, são os limites de sua extensão na direção da corrente. O termo foi geralmente aplicado às superfícies metálicas em contato com a substância em decomposição; mas os filósofos geralmente também o aplicariam às superfícies do ar (465. 471.) e água (493.) [...] No lugar do termo polo, proponho o uso do termo eletrodo, e quero dizer uma substância, ou sim, superfície, seja de ar, água, metal ou qualquer outro corpo, que limita a extensão da matéria em decomposição na direção da corrente elétrica (FARADAY, 1834a, p.77, tradução nossa).

É evidente que em todos os casos em que a decomposição não ocorre, isto é, dependem da falta de condução (677. 413.); mas isso não diminui o estímulo ao ver a grande diferença de efeito devido a uma mudança, não na natureza dos elementos, mas apenas em suas proporções, especialmente em qualquer tentativa que possa ser feita para elucidar e expor a bela teoria apresentada por Sir HUMPHRY DAVY e ilustrada por BERZELIUS e outros filósofos eminentes, essa afinidade química comum é um simples resultado das atrações elétricas das partículas da matéria (FARADAY, 1834a, p.85, tradução nossa).

Os estudos de Faraday o levaram a estabelecer relações e padrões entre as fontes de eletricidade, as alterações na matéria decorrentes da passagem da corrente elétrica e a quantidade de eletricidade utilizada. Para medir a relação entre quantidade de eletricidade e material decomposto, ele construiu um aparato denominado volta-eletrômetro, que funcionava da seguinte forma: quando uma corrente era aplicada ao material, o gás produzido era capturado e medido, e as voltas dadas no aparelho para gerar a corrente eram contadas, assim era possível estabelecer uma relação entre eletricidade e matéria decomposta. O aparelho é descrito na unidade BHC_02; já a unidade RSP_07_F expõe suas concepções quanto à relação entre a quantidade de matéria decomposta proporcionalmente à quantidade de eletricidade aplicada ao material:

Planejando trabalhar quantitativamente, Faraday começou a construir um dispositivo que ele denominou um volta-eletrômetro. Isto foi capaz de medir a “quantidade total” de eletricidade usada em um experimento. (Um galvanômetro apenas mede a força atual, ou taxa de fluxo, em qualquer instante dado). A ideia era simples; deixe a corrente decompor água acidulada e meça o volume de hidrogênio mais oxigênio assim produzido (STOCK, 1991, p.90, tradução nossa).

Na terceira série destas Pesquisas, depois de provar a identidade da eletricidade derivada de diferentes fontes e mostrando, por medição real, a quantidade extraordinária de eletricidade produzida por um arranjo volátil muito fraco (371. 376.), anunciei uma lei, derivada do experimento, que me pareceu da maior importância para a ciência da eletricidade em geral, e esse ramo é denominado particularmente de eletroquímica. A lei foi expressa assim: o poder químico de uma corrente de eletricidade está em proporção direta à quantidade absoluta de eletricidade que passa (FARADAY, 1834a, p.102, tradução nossa).

Como apontam Driver e colaboradores (1999), um determinado arcabouço de conhecimento não se estabelece enquanto a comunidade científica não tiver entrado em acordo sobre sua validade, e isso se torna parte da forma não problemática de ver as coisas. As ideias sofrem todo um processo de debate e aceitação e, quando aceitas pela maioria, constituem-se nos símbolos da ciência que são utilizados para explicar os fenômenos da natureza (átomos, campos de força, gravidade, etc.) e que dificilmente serão descobertos pela simples observação da natureza. Apesar de algumas teorizações propostas por Faraday não terem sido amplamente aceitas ou terem sido suprimidas por outras ideias consideradas mais elaboradas, sua pesquisa contribuiu para a consolidação dos estudos eletroquímicos,

principalmente a elaboração da lei que expressa que a corrente elétrica é diretamente proporcional à quantidade de matéria decomposta, ou seja, o estabelecimento explícito da relação entre eletricidade e matéria que mais à frente seria implementado pelas pesquisas de J. J. Thompson com a construção do modelo atômico constituído pela partícula “elétron”.

4. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE ELETROQUÍMICA E CATEGORIAS CONTEXTUAIS: POSSÍVEIS APROXIMAÇÕES

Neste capítulo, iremos apresentar o segundo objetivo específico, que consiste em apresentar quais as aproximações com os constructos teóricos de Faraday e as concepções dos alunos, quanto as explicações sobre a Natureza Elétrica da Matéria, oriundas das categorias contextuais, e que retratam os estudos sobre a natureza elétrica da matéria, tendo como referência Michael Faraday, mas sem deixar de considerar a contribuição dos seus contemporâneos. Propomos, com essa revisão, examinar as contribuições das pesquisas para o tema investigado, através da análise das concepções nos propomos não só a identificá-las, mas também a produzir categorias segundo as orientações de Vosgerau e Romanowski (2014).

As concepções que os estudantes carregam consigo se aproximam, em certo nível, das apresentadas por cientistas do passado, logo inserir o estudante no contexto em que os modelos da Ciência foram elaborados, sejam eles internos ou externos, pode contribuir para que o estudante compreenda quais os parâmetros de construção do conhecimento científico e seus campos de validade (MATTHEWS, 1995; EL-HANI; BIZZO, 2002; MATTHEWS, 2002; MARTÍNS, 2006). Entendemos que a perspectiva do construtivismo contextual pode contribuir para que os estudantes compreendam e apliquem de modo mais coerente o conhecimento científico em seus contextos apropriados, pois concebe papel central ao indivíduo no processo de aprendizagem e propõe apresentar aos estudantes o contexto sociocultural da construção da ciência, que é encarada como uma segunda cultura para os estudantes (EL-HANI; BIZZO, 2002; MATTHEWS, 2002).

Pode-se inferir que tais concepções alternativas são fruto do ensino propedêutico que tem se desenvolvido nas últimas décadas, apesar dos debates sobre a necessidade da proposição de abordagens inovadoras para romper com esse panorama (MATTHEWS, 1995; OKI; MORADILLO, 2008). Nesse debate, encontram-se as orientações para a inserção de temas da HC, pois contribuem para uma visão mais fidedigna da atividade científica e para superar as concepções distorcidas que os estudantes apresentam.

Nesse sentido, a pergunta “Quais as aproximações que existem entre as possíveis contribuições de Faraday e as concepções dos alunos, no que se refere às explicações sobre a Natureza Elétrica da Matéria?” assume consistência diante dos objetivos que a HC estabelece para o Ensino de Ciências. Como discute Martins (2006), as concepções alternativas devem ser consideradas no contexto da sala de aula e, para que ocorra a mudança conceitual, faz-se

necessário compará-las com outras concepções, sejam elas aceitas atualmente pela ciência ou com outras ideias alternativas, as quais podem ser obtidas por meio dos elementos advindos da HC e inseridos na abordagem de sala de aula através da contextualização histórica, como defendido por Matthews (1995). Portanto, concorda-se com a hipótese de que existem aproximações entre os elementos fornecidos pelas categorias aqui elaboradas e as concepções dos estudantes, obtidas através da literatura.

Segundo Teixeira Jr e Silva (2011), é esperado que os estudantes apresentem uma descrição que um sistema eletroquímico que relacione os aspectos macro, micro e representacional inerentes ao conhecimento químico e consequentemente da linguagem da ciência, assim eles, os estudantes, deveriam apresentar os aspectos (sub)microscópicos que ocorrem nos diferentes compartimentos da pilha e uma representação ampliada das transformações, isto é, uma representação semelhante à apresentada na Figura 6.

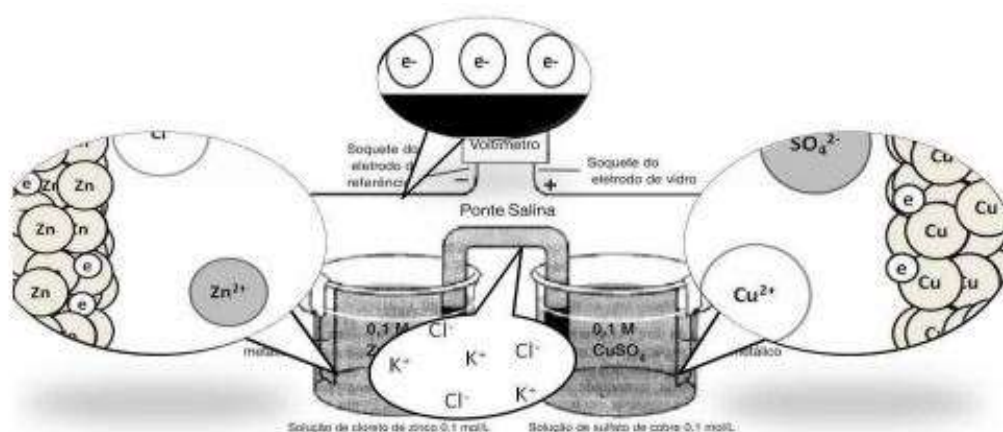


Figura 6: Modelo esperado que os estudantes apresentem quando solicitados a descrever um sistema eletroquímico – uma integração entre a representação macroscópica, microscópica e representacional.

Fonte: Teixeira Jr e Silva (2011).

Segundo o esquema exposto na Figura 6, na superfície do anodo um átomo de zinco libera dois elétrons e se transforma em íon zinco (Zn^{2+}), entrando na solução; os dois elétrons migram do anodo, passando pelo fio em direção ao cátodo, esse movimento é espontâneo, devido a diferença de energia potencial entre os dois eletrodos; na superfície do cátodo, os dois elétrons reduzem um íon cobre (Cu^{2+}) da solução a uma tomo de cobre, que é depositado no cátodo; assim, à medida que a pilha funciona, a placa de zinco é gasta (diminuindo sua massa), aumentando a concentração de íons zinco em solução, da mesma forma a placa de

cobre ganha um pequeno aumento de massa, e a concentração de íons cobre em solução irá diminuir; o fluxo de elétrons do anodo para o cátodo só é possível se os íons forem transferidos através da ponte salina, a fim de manter um balanço de carga total para cada um dos compartimentos (TEIXEIRA JR; SILVA, 2011).

Podemos inferir que os estudantes apresentam concepções que se distanciam das teorias científicas, isto é, Concepções Alternativas, e que são responsáveis pela proposição de respostas padronizadas frente ao fenômeno em estudo (DRIVER et al., 1999; EL-HANI; BIZZO, 2002; LABURÚ et al., 2003; SILVA; AMARAL, 2016). Apresentar os parâmetros de estabelecimento do conhecimento científico através da AC proposta por Matthews (1995) tem sido considerada uma abordagem potencial para a promoção da aprendizagem significativa, com aporte em elementos oriundos da HC e Filosofia da Ciência, em especial pela Filosofia Química, e que se encontram expressos nas categorias obtidas através da PB.

A revisão nos permitiu construir um panorama do que vem sendo pesquisado sobre o tema, bem como a construção de categorias que estão em consonância com as propostas na literatura (VOSGERAU; ROMANOWSKI, 2014). A Tabela 1 apresenta uma síntese das categorias propostas e quais as possíveis aproximações com os elementos contextuais. Em sequência, as concepções são discutidas à luz do referencial teórico e são estabelecidas relações com os elementos contextuais.

A Tabela 3 foi construída com o propósito de organizar a análise, de modo a permitir uma melhor visualização da correlação entre as Concepções Alternativas com os elementos sociais e teóricos oriundos da Pesquisa Bibliográfica, um panorama do que vem a ser discutido nas respectivas categorias. Sua construção busca apresentar aspectos centrais discutidos por Michael Faraday quanto a eletricidade e matéria e que possui em certo grau, aproximação com as concepções dos estudantes acerca dessa temática, nesse sentido destaca-se as quatro categorias elaboradas, a saber: (1) estrutura da matéria; (2) Formação e caracterização da entidade íon; (3) Condutibilidade elétrica e; (4) Corrente elétrica.

Tabela 3: Possíveis aproximações entre as categorias construídas com base no levantamento das concepções dos estudantes e os elementos oriundas das categorias contextuais.

<i>CATEGORIA</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>	<i>APROXIMAÇÕES</i>
<i>ESTRUTURA DA MATÉRIA</i>	Não aceitam a descontinuidade da matéria como um modelo possível, bem como proposição de modelos fora do contexto de aplicação.	Faraday assim como muitos de seus contemporâneos eram contrários a descontinuidade da matéria e seu contexto foi marcado por modelos distintos para compreender a estrutura da matéria.
<i>FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ENTIDADE ÍON</i>	Não concebem a transferência de elétrons entre as partículas da matéria (átomos) e tem dificuldade em relacionar a perda ou ganho com a formação de íons.	Suposição de partículas capazes de adquirir carga era um modelo fortemente presente nos estudos elétricos e estava intrinsecamente relacionado a um modelo de matéria, bem como a busca pela compreensão da sua natureza e relação com os fenômenos eletroquímicos.
<i>CONDUTIBILIDADE ELÉTRICA</i>	Associa a corrente apenas à existência de cargas, como uma fluxo de cargas em um sentido único e definido pela carga dos polos ou devido as reações de oxidação mas sem tecer relação entre a movimentação de cargas e o modelo microscópico da matéria.	Classificação entre materiais condutores e não condutores e busca por modelos que possibilitassem compreender o mecanismo responsável pela condutibilidade ou não dos materiais.
<i>CORRENTE ELÉTRICA</i>	Compreendem a corrente elétrica como o resultado da presença de cargas na matéria, mas sem expressar maiores detalhes ou uma visão microscópica do comportamento das partículas que compõem a matéria.	Como ocorria a movimentação das partículas na solução eletrolítica e qual a relação dos polos com a produção e fluxo da corrente elétrica.

Destacamos que a apresentação de tais concepções não visa constituir-se um conjunto de ideias a serem superadas pelos estudantes, mas que podem servir para o desenvolvimento de concepções mais amplas e fundamentadas quanto a Natureza Elétrica da Matéria – mais especificamente o conteúdo de eletroquímica – através do favorecimento da compreensão dos parâmetros em que o conhecimento é construído e o contexto em que é válido, constituindo-se em uma segunda cultura que pode coexistir com suas visões de mundo (EL-HANI; BIZZO, 2002; MATTHEWS, 2002). Como destaca Ribeiro (2013), a superação desse quadro passa pela discussão de aspectos ontológicos (níveis de realidade, descrição e complexidade) e epistemológicos (parâmetros em que se dá a análise), que podem ser inseridos por intermédio da Filosofia da Química, pois têm o potencial de tornar mais claros os níveis de descrição, análise e explicação do discurso químico.

4.1 ESTRUTURA DA MATÉRIA

Essa primeira categoria busca apresentar as concepções que os estudantes apresentam sobre estrutura da matéria e quais as possíveis relações com os estudos de Michael Faraday. Em seu estudo Mortimer (1995) identificou duas dimensões das concepções dos estudantes acerca do tema, a primeira é o fato de atribuírem propriedades macroscópicas para explicar aspectos microscópicos da transformação da matéria, por exemplo, estabelecem que as partículas da matéria podem aumentar seu volume como forma de explicar a expansão do gás quando ele é aquecido; a segunda dimensão refere-se à concepção de que “a natureza abomina o vazio”, pois, apesar de utilizarem o modelo de partículas para representar a matéria, eles têm dificuldade em aceitar um modelo em que o vazio seja uma propriedade provável da matéria.

“Apesar da maioria dos estudantes [...] usar partículas para representar os materiais, eles têm dificuldades em aceitar a ideia de que entre as partículas possam existir espaços vazios. Quando perguntados sobre a natureza do espaço entre as partículas [...] os estudantes tendem a responder que entre as partículas desenhadas existem outras partículas, negando a existência do espaço vazio” (MORTIMER, 1995, p.24).

Posada (1997) ao investigar como os estudantes concebem a estrutura interna dos metais e sobre porque os metais podem conduzir uma corrente elétrica, no que se refere ao modelo de matéria, identificou que uma parcela dos estudantes investigados utilizam um modelo de matéria em que a descontinuidade não é aceita, apesar da outra parcela utilizar um modelo descontínuo.

Ao descrever a composição de um pedaço de ferro, os estudantes fizeram referência a um arranjo contínuo (não particulado) ou descontínuo (particulado) da matéria. Sob o arranjo contínuo, eles usaram expressões como "pequena pedra", "lâmina pequena" e "pedaços de metal" [...] Os alunos com uma concepção descontínua da matéria usaram as palavras "partículas", "moléculas", "cátions" e/ou "elétrons móveis" e fizeram desenhos que continham pontos discretos, círculos e outros objetos (POSADA, 1997, p.452, tradução nossa).

Podemos inferir que essas concepções não são exclusivas do contexto educacional das últimas décadas, os elementos oriundos do contexto de Faraday, sendo mais específica a segunda categoria, visto que retrata como a ideia da continuidade da matéria foi fortemente questionada por aqueles que defendiam a filosofia mecanicista. A trajetória até a aceitação do modelo atômico foi permeada por constantes conflitos entre teorias e resultados experimentais, bem como pelas crenças pessoais que cada cientista carregava consigo, cabendo destacar mais uma vez a influência da religião de Faraday nos constructos teóricos dele.

Se, na HC, é consenso que os cientistas não estão dissociados do seu contexto (MATTHEWS, 1995; OKI; MORADILLO, 2008; MARTÍNS, 2006; MOURA, 2014), o mesmo ocorre com os estudantes, pois, quando são inseridos na cultura científica, suas concepções não são abandonadas, e eles relutam em compreender o mundo diante de um conjunto de orientações que não são acessíveis através da percepção comum (EL-HANI; BIZZO, 2002; MATTHEWS, 2002)

Destacam-se também as concepções em que os estudantes constroem suas explicações por influência de algum modelo específico veiculado nos livros didáticos ou na mídia em geral – Dalton, Thompson, Rutherford, Bohr – e se esquecem de considerar os parâmetros teóricos em que cada uma foi elaborada e a quais situações específicas se aplicam (FUKUI; PACCA, 1999; FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009).

“Os dados mostram que o ensino não valorizou a evolução histórica dos modelos atômicos, uma vez que as representações se encontram bem distribuídas entre características dos modelos escolares” (FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009, p.278).

Harrison e Treagust (1996) também identificaram o uso pelos estudantes de modelos diversos ou preferência por algum modelo atômico. Ao apresentar um conjunto de modelos atômicos aos estudantes, eles identificaram que a maioria prefere modelos de átomos e

moléculas que retratam essas entidades como estruturas discretas e concretas, como o modelo de órbitas do átomo (semelhante ao modelo do sistema solar) ou a atribuição de características macroscópicas a entidades microscópicas, como por exemplo atribuir forma, tamanho e textura ao átomo. Segundo os autores, é possível inferir que os estudantes acreditam que há uma correlação significativa entre seu modelo mental de matéria com a realidade e destacam a necessidade de os professores discutirem com os alunos suas concepções de modelos científicos, metáforas e analogias.

Os alunos foram considerados como tendo um modelo mental cuja imagem da matéria era semelhante a uma esfera, se eles desenhasssem um círculo simples ou descrevessem um átomo como bola, uma esfera ou dissessem que o átomo era redondo e sólido. É intrigante que 55% desses alunos expressassem a opinião de que um átomo era como bola ou esfera, mas escolheram diagramas espaciais [...] (com) pouca preferência pelo modelo de bola descrito no diagrama número 6. Essa aceitação acrítica de modelos contrastantes sugere que a compreensão neste domínio é bastante superficial (HARRISON; TREAGUST, 1996, p.523, tradução nossa).

É significativo inserir discussões que possibilitem compreender que o conhecimento científico se constrói por meio de um processo longo de debates e críticas aos modelos postos em análise, o que contribui para o aperfeiçoamento e a delimitação dos seus parâmetros de aplicabilidade (MARTÍNS, 2006; MOURA, 2014). O conhecimento científico é, ao mesmo tempo, simbólico e socialmente construído, os objetos da ciência não são os fenômenos da natureza, mas as construções teóricas desenvolvidas pela comunidade científica para interpretá-la (DRIVER et al., 1999). Assim, a construção dos modelos sobre a matéria não foi de nenhum modo linear ou construída da noite para o dia, a ciência não se faz envolta em uma bolha e dissociada do seu contexto sócio-histórico, foram diversos os modelos propostos para compreender os mecanismos pelos quais ocorriam as transformações da matéria, principalmente marcados por uma “disputa” entre o modelo mecanicista e o atômico, cada qual com seu arcabouço teórico e nível de aplicação.

No início de suas pesquisas, Faraday era adepto da teoria corpuscular, mas, no decorrer de seus estudos, acabou por modificar alguns dos seus constructos e passou a considerar a teoria do átomo pontual de Bosovich, isso porque os resultados oriundos das suas pesquisas, em especial as pesquisas sobre os fenômenos elétricos de condução e decomposição, o levaram a fatos não mais sustentados pela teoria corpuscular, e os modelos sofrem alterações e precisam que seus contextos de aplicação sejam melhor compreendidos.

Segundo França, Marcondes e Carmo (2009), a adesão por um modelo atômico escolar específico é fruto da não valorização da evolução histórica desses modelos; e, como consequência disso, as representações atômicas dos estudantes – incluindo suas partículas constituintes – estão bem distribuídas entre os modelos escolares. Os autores ainda destacam que ensinar um determinado tema implica estabelecer com clareza o processo pelo qual os modelos foram construídos e em quais contextos se aplicam, apontamento que vai ao encontro das conjecturas de Scerri (2001) e de El-Hani e Bizzo (2002), assim como das de Matthews (2002).

A ciência possui parâmetros específicos de construção e aplicação que não são familiares aos estudantes e, se omitidos ou distorcidos, podem resultar em compreensões que se distanciam das estabelecidas pela ciência (ERDURAN, 2001; RIBEIRO, 2013; KAVALEK et al., 2015). A disputa pela elaboração de modelos da matéria é um exemplo emblemático do quanto as controvérsias permeiam a construção e consolidação do conhecimento (NARASIMHAN, 2001), se forem apresentados os parâmetros de elaboração e validade, potencialmente os estudantes irão compreender e aplicar os modelos atômicos às diferentes situações, e isso de forma mais coerente.

4.2 FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ENTIDADE ÍON

A segunda categoria retrata a relação entre carga (o elétron) e íon. França, Marcondes e Carmo (2009) identificaram que existe certa rejeição dos estudantes à aceitação do modelo de transferência de elétrons entre os átomos. A justificativa dada pelos estudantes é que são partículas intrínsecas à estrutura atômica e sua perda descaracteriza a entidade átomo; os que aceitam a transferência de elétrons a justificam pela ocorrência das ligações químicas ou pela neutralidade elétrica da matéria resultante do ganho/perda de elétrons por cátions e ânions.

“Os dados obtidos revelam que 42% dos alunos concordam que os elétrons podem ser separados do átomo, 46% não concordam, 7% não sabem responder e 5% deixaram a questão em branco [...] Nas justificativas apresentadas [...] chama a atenção o número de alunos que manifestam a ideia de que o átomo não existe sem seus elétrons (34%), pois deixa de ser átomo ou “morre” (FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009, p.279).

Segundo Bueso, Furió-Mas e Teixidó (1988), uma possível hipótese para a ocorrência de duas concepções é que os conteúdos são reduzidos e as metodologias de ensino são baseadas na transmissão verbal do conhecimento, perspectiva que tem levado a uma má

assimilação do conceito de redução e oxidação. Em estudo realizado por eles, que se propôs a realizar levantamento das explicações dadas pelos estudantes quanto as reações de oxidação-redução, em específico, verificou-se que os alunos no final de seus estudos secundários alcançam uma compreensão dessas reações como resultado da troca eletrônica nas espécies químicas que reagem, e concluíram que a maioria dos estudantes de Química, Física e Biologia o finalizam sem correlacionaram a transferência de elétrons às reações de oxirredução.

Barke (2012) identificou que os estudantes, em sua maioria, apresentam dificuldades ao interpretar os fenômenos químicos, entre eles o de oxirredução, quando solicitados a explicar o fenômeno de deposição metálica, pois não compreendem claramente a diferença entre átomo, íons e substâncias.

Os alunos com notas entre 10-12 realmente mostram equívocos na escola, porque não distinguem entre íons e átomos, entre átomos ou íons e substâncias relacionadas: "o sulfato de cobre é reduzido e se torna cobre e ferro; os íons de cobre da solução se conectam ao prego; o prego (Fe) reage com sulfato de cobre (CuSO_4) e por uma reação redox, o ferro extrai elétrons do CuSO_4 e torna-se de cor cobre" (BARKE, 2012, p.38, tradução nossa).

De modo semelhante, as pesquisas sobre os fenômenos elétricos tinham como questão chave a forma como a eletricidade era conduzida pelos materiais, se hoje a eletricidade é entendida como intrinsecamente relacionada ao elétron, no período temporal de Faraday a ciência elétrica considerava a ideia de propagação da força elétrica através de um mecanismo de cadeia por intermédio de um processo de indução. Segundo ele, a interação entre a eletricidade e as partículas era considerada o fator chave, e a perturbação no equilíbrio das cargas devido à passagem da corrente elétrica fazia com que as partículas adquirissem cargas positivas e negativas, e assim eram formadas as entidades que hoje consideramos íons.

Hoje consideramos a entidade elétron, no século XVII e XVIII a concepção de cargas conduziu os estudos na ciência e estava intrinsecamente relacionada ao modelo de matéria, havia uma falta de consenso sobre a relação matéria/eletricidade e a formação de cargas, o processo de assimilação não foi linear e assim também não o é nas abordagens de sala de aula. Pacca e colaboradores (2003) perceberam que os estudantes não identificam que há dificuldades em estabelecer relação entre a estrutura dos condutores e a condução da corrente elétrica, a qual está associada ao modelo de estrutura da matéria e a cargas elétricas, possivelmente uma consequência das ideias de carga elétrica e de modelo atômico que os estudantes constroem durante as abordagens fragmentadas de sala de aula, em que cabe à

Química a análise de reações químicas e estruturas moleculares e à Física a análise dos fenômenos simples de eletrostática ou a aplicação de fórmulas.

França, Marcondes e Carmo (2009) destacam que os estudantes não conseguem estabelecer uma relação entre átomo e íon, provavelmente devido à definição simplista de que o íon é um átomo que ganha ou perde elétrons em sua camada de valência; essa maneira simplificada pode dificultar a relação entre os fenômenos do cotidiano e o comportamento dos íons, já que os modelos aceitos pela ciência resultam da idealização de ideias segundo parâmetros específicos da ciência. A noção de modelo poderia contribuir para que os estudantes relacionassem de modo mais coerente os modelos científicos; o modelo é considerado muitas vezes como algo concreto, quando na realidade envolve um alto grau de abstração (OKI; MORADILLO, 2008), assim, a compreensão do real significado de modelo poderia contribuir para que a formação de íons e o modelo de matéria fossem relacionados de modo coerente pelos estudantes.

No que se refere à entidade íon, o contexto de Faraday foi significativo, pois envolveu a controvérsia entre sua teoria e a de Arrhenius, enquanto o primeiro compreendia a formação de cargas na matéria devido à interação com a corrente elétrica, o segundo idealizou sua formação pela dissociação de sais, ácidos ou bases em solução (ARRHENIUS, 1912). Se naquele período havia certa dificuldade para compreender sua natureza, hoje ela ainda persiste no cognitivo dos estudantes, sendo discutida com base em outro parâmetro, qual seja, a relação entre a entidade elétron e o átomo. A ciência é constituída de reformulações, acúmulo ou ruptura de conhecimento no decorrer das décadas, o conhecimento que hoje consideramos como o mais coerente pode, em um futuro, não mais sê-lo, nesse sentido é fundamental apresentar quais os parâmetros de mudança e validação (ERDURAN, 2001; RIBEIRO, 2013).

França, Marcondes e Carmo (2009) investigaram se os estudantes são capazes de relacionar o modelo atômico para um átomo específico ao seu íon correspondente – átomo de sódio –, tendo verificado que uma parcela significativa dos estudantes não conseguiu estabelecer tal relação e, entre aqueles que conseguiram, o modelo de íon era distinto do modelo atômico por ele proposto.

“Os dados também parecem sugerir que os estudantes possuem conceitos fragmentados, uma vez que não conseguem relacionar o modelo de átomo que representam [...] No ensino também se percebe que os modelos atômicos são tratados genericamente, e os livros e os professores, de maneira geral, apresentam os modelos atômicos sem aplicá-los a átomos de um dado elemento” (FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009, p.281).

Os autores inferem que isso ocorreu, possivelmente, devido ao ensino que enfatiza fórmulas químicas ou representações simbólicas de modelos, sem aplicá-los a situações específicas que permitiriam ao estudante transpor o conhecimento adquirido a modelos atômicos específicos, e mais uma vez destacamos a importância de apresentar os parâmetros de produção do conhecimento científico e dos modelos. Como discute Ribeiro (2013), o currículo muitas vezes ignora barreiras que precisam ser desmistificadas ao serem inseridas no Ensino de Química, ou seja, a compreensão de características inerentes a esse campo de estudo; isso se deve ao fato de que o currículo foi construído sem considerar que os modelos requerem certo nível de abstração e que o conhecimento científico não corresponde às visões de mundo dos estudantes.

4.3 CONDUTIBILIDADE ELÉTRICA

Nesta categoria discutiremos as concepções associadas a corrente elétrica, em específico a origem e relação com a movimentação de cargas, as reações de oxirredução e ao modelo microscópico da matéria. Francisco Jr. e colaboradores (2005) identificaram que em um nível mais simples os estudantes atribuem esse fenômeno à capacidade que certos materiais têm de permitirem conduzir eletricidade, mas sem mais explicações detalhadas, apenas conseguem estabelecer categorias de substâncias que conduzem ou não eletricidade. Já as respostas de nível mais elaborado envolvem a presença de cargas elétricas como as responsáveis pela passagem da corrente.

“14,3% dos alunos atribuíram o choque elétrico a presença de cargas capazes de promoverem a condução de eletricidade. Entretanto, se evidencia que poucos alunos possuem um conhecimento mais sólido, conferindo uma importância às cargas elétricas no fenômeno de condução, mas, utilizando o termo “carga” sem mostrar seu real significado. Mais uma vez estes conhecimentos podem ser verificados como intuitivos, pois não foram discutidos e interpretados” (FRANCISCO JR et al, 2005, p.6).

Posada (1997) ao investigar o modelo dos estudantes quanto a condutibilidade em metais e aos fatores que contribuem para que conduzam eletricidade e a natureza da corrente, destaca que os estudantes não conseguem transmitir claramente a natureza da eletricidade ou suas causas, para alguns alunos, correntes elétricas ocorrem devido ao choque de eletricidade de polos positivos e negativos da bateria, a transferência da carga na bateria para o metal ou ao movimento dos átomos.

Nas palavras de um estudante da 11ª série: "Os íons são realmente livres e se alinham para conduzir eletricidade efetivamente". A capacidade de conduzir eletricidade é transferida do metal para elétrons. Os alunos têm dificuldade em entender o papel dos elétrons em seus modelos. Podemos ter classificado algumas respostas nessa categoria quando as ideias dos alunos estavam realmente mais próximas da ideia de fluxo de elétrons (POSADA, 1997, p.457, tradução nossa).

Assim como os estudantes apresentam respostas vagas, o início dos estudos sobre a condutibilidade elétrica também não apresenta teorias muito consistentes, foi um processo gradativo e permeado por debates até se chegar a um consenso sobre a natureza do fenômeno e um arcabouço teórico “sólido”, e essas pesquisas estavam direcionadas principalmente à condutibilidade de soluções. Entre aqueles que se debruçaram sobre esse campo de estudo, estavam Faraday, Arrhenius, Alessandro Volta, Humphry Davy e outros. O foco de estudo desse fenômeno foi a compreensão da interação da eletricidade com a matéria, e Faraday idealizou que os materiais que eram condutores sofriam alteração na polaridade das partículas, ou seja, a formação de espécies carregadas positiva ou negativamente e os materiais que em estado sólido eram bons condutores devido à estrutura geométrica que as partículas do material assumia. Outro exemplo é a teoria do contato, proposta por Alessandro Volta para explicar a produção da corrente elétrica em seu aparelho recém construído – a pilha –, que atribuía a fonte da eletricidade ao contato bimetálico, sem apresentar mecanismos mais detalhados (RUSSEL, 1959). Assim como os estudantes apresentam níveis básicos de explicação, os cientistas nem sempre apresentam modelos teóricos que são ricos em detalhes, tratando-se, pois, de um processo gradativo de construção e acúmulo de dados teóricos e empíricos que contribuem para a elaboração de teorias mais complexas.

Caramel e Pacca (2011) discutem que o ensino foca exclusivamente no modelo de corrente eletrônica para explicar a condutividade elétrica – movimentação de elétrons através de um condutor metálico –, e a condução iônica é entendida equivocadamente como a movimentação no fio condutor, equivoco identificado também por Hamza e Wickman (2008); Sanger e Greebowe (1997a, b); Schmidt, Marohn e Harrison (2007); Sanger e Greebowe (2000); Rogers, Huddle e White (2000). Ainda segundo as autoras, a ênfase que se tem dado, no ensino de pilhas e eletrólise, às reações de oxirredução, que são destacadas como ocorrendo em compartimentos separados, é uma possível causa para tais ideias, uma vez que não favorece que o estudante compreenda o processo como um todo interligado e no qual as alterações que ocorrem em um compartimento influenciam as mudanças no outro.

“Consideram a condução no eletrólito como movimento de elétrons. Parece que utilizam o modelo de condução em metais e, assim, a corrente através da célula também é eletrônica” (CARMEL; PACCA, 2011, p.20).

“Em geral, os alunos percebem que a corrente não pode fluir sem um circuito fechado e muitos estudantes acreditam que apenas o fluxo de elétrons pode completar este circuito. Consequentemente, muitos alunos se apegam à noção de que os elétrons fluem do ânodo para o cátodo ao longo do fio e são então liberados no cátodo, viajando através da ponte salina e do eletrólito, e para o ânodo” (SANGER; GREEBOWE, 1997a, p.55, tradução nossa)

Modelo semelhante foi identificado por Garnett e Treagust (1992b), ao identificarem que os estudantes compreendem a movimentação de elétrons através da transferência de tais entidades através dos íons em solução por um mecanismo em que um elétron “salta” de um íon para outro através da solução até alcançar o eletrodo, onde será liberado.

Alguns declararam que os elétrons movem-se para os íons em um eletrodo, e são transferidos, seja por um mecanismo de "pulando", através da solução para o outro eletrodo, onde são liberados. A abordagem de pulando descreve os elétrons que se movem através da solução sendo atraídos para um primeiro íon e depois outro. Com efeito, os elétrons praticamente passam de íons para íons até passarem pelo eletrólito (GARNETT; TREAGUST, 1992b, p.131, tradução nossa).

Schmidt, Marohn e Harrison (2007) destacam que os estudantes desenvolvem uma variedade de ideias quanto a mobilidade das cargas elétricas através da solução eletrolítica. De modo geral, as concepções convergem para a ideia geral de que os elétrons migram através da solução de um eletrodo para o outro; no entanto, pode-se identificar uma diversidade de formas em que tal mecanismo é apresentado: (i) Os elétrons livres são atraídos para o polo positivo e repelidos pelo polo negativo resultando em um fluxo de elétrons através da solução; (ii) os íons recebem os elétrons em um eletrodo e os carregam através do solução até o outro eletrodo e; (iii) os elétrons são transferidos de um íon para o próximo.

Podemos identificar uma relação entre matéria e carga que se dá de modo incoerente do ponto de vista científico, e podemos traçar um paralelo com as concepções teóricas de Faraday, pois, ao estudar a condutividade dos materiais, ele propôs uma diferenciação que tinha como base a presença da água como meio interveniente entre as partículas condutoras. Assim, a condução dos íons estava relacionada à presença dessas espécies em solução, e um segundo modo de condução poderia ser identificado nos compostos sólidos, isso com base em

parâmetros experimentais e modelo de matéria, relação que permeou os constructos de Faraday e que podem fornecer elementos que tornem mais explícita essa relação.

As concepções que os estudantes carregam consigo têm de ser consideradas na abordagem de sala de aula, haja vista que reforçam que o ensino não se faz através da simples transmissão de informações. Um dos principais entraves é a comunicação entre o professor, que detém uma linguagem científica carregada de múltiplos códigos e níveis de representação que se chocam com a experiência cotidiana dos estudantes, também repleta de significados intrínsecos a seu contexto sociocultural (CARMEL; PACCA, 2011).

Segundo Posada (1997), a forma como algumas declarações são postas no livro didático como por exemplo, os metais são excelentes condutores de corrente elétrica, pode causar problemas para os alunos, pois ao tentarem compreender a condutividade dos metais e em especial quando tentam conciliar a concepção da energia e modelo atômico, a simplicidade como esse modelo é apresentado não contribui para a aprendizagem dos estudantes, pois eles têm dificuldade em relacionar o modelo aceito na ciência com os seus modelos próprios.

É fundamental considerar a forma como o indivíduo organiza suas ideias e compreender os critérios utilizados na validação desse conhecimento, cabendo destacar que, para que determinadas ideias sejam consideradas válidas e relevantes para o estudante, o que se ensina sobre ciência deve ser considerado pelos aprendizes como uma segunda cultura, e, portanto, a linguagem e os significados que a ciência atribui aos fenômenos devem ser apreendidos pelos estudantes (EL-HANI; BIZZO, 2002). O modelo de ensino centrado na figura do professor, na audição em detrimento do diálogo, na experimentação, na observação e na transmissão do conhecimento científico como ferramentas potencializadoras da aprendizagem perdeu espaço nas últimas décadas (LABURÚ et al., 2003; NARDI; GATTI, 2004); nesse contexto, os elementos oriundos da HC podem contribuir para a melhor compreensão do conhecimento científico (MATTHEWS, 1995; OKI; MORADILLO, 2008; MOURA, 2014), pois retratam a dinâmica da ciência e suas formas de compreender os fenômenos da natureza (ERDURAN, 2001; RIBEIRO, 2013; KAVALEK et al., 2015).

Segundo Teixeira Jr. e Silva (2011), o esperado é que os estudantes compreendam o fluxo eletrônico ou iônico no sistema eletroquímico, em função da perda de elétrons pelos átomos da superfície do ânodo e que, convertidos à forma de cátions, são liberados para a solução, enquanto que os elétrons cedidos pela espécie oxidada fluem pelo fio condutor em

direção ao cátodo, no qual reduzem os ânions presentes em solução à sua forma metálica, que se deposita nas paredes do cátodo. Esse mecanismo é possível devido às duas correntes interligadas – eletrônica e iônica –, que mantêm o funcionamento do sistema eletroquímico.

As pesquisas de Faraday e seus contemporâneos também se propuseram a estabelecer uma relação entre matéria e eletricidade, em especial quais os efeitos oriundos da interação dessas duas linhas de pesquisa. Os resultados apontam para uma relação intrínseca entre esses dois campos do saber, e foi devido a essa união que a compreensão dos fenômenos eletroquímicos sofreu avanços significativos, mas que levaram décadas para que se chegasse a um consenso. Então não se deve esperar que os estudantes tenham essa compreensão pela simples apresentação do conteúdo, e podemos inferir que os elementos expostos nas categorias contextuais podem contribuir para a construção de concepções mais estruturadas.

4.4 CORRENTE ELÉTRICA

Nessa categoria, enquadram-se as concepções sobre corrente elétrica identificadas por Fukui e Pacca (1999), as quais são compreendidas pelos estudantes como o resultado da movimentação de cargas no interior do material condutor, o que, na linguagem dos estudantes, seria a presença de átomos negativos “versus” átomos positivos, resultado também identificado por Garnett e Treagust (1992b). Outros apresentam a concepção de que a corrente elétrica é oriunda da movimentação de cargas em sentido único, do polo positivo para o negativo, ou vice-versa; ou a transferência de elétrons entre os átomos do material condutor em um sentido único, entretanto para um único elétron e não para um conjunto deles.

“O desenho traz o modelo atômico discutido anteriormente e, a partir dele, resolver como se dá a corrente elétrica ao longo do fio. Neste caso, “*o elétron se transfere de átomo em átomo, formando uma corrente elétrica*”. Isto é feito para somente um elétrons, e não para um conjunto de elétrons, como seria a corrente elétrica” (FUKUI; PACCA, 1999, p.5).

De modo semelhante, alguns teóricos contemporâneos de Faraday teorizaram a existência de “formas” de eletricidade, como a eletricidade positiva e a negativa, em que ambas as formas percorriam o aparelho eletroquímico e causavam os efeitos macroscópicos, como a formação de hidrogênio em um polo e oxigênio em outro, ambas as substâncias eram relacionadas à carga da corrente elétrica, que para alguns era entendida como uma forma de matéria (fluido elétrico). A ideia de sentidos opostos foi muito utilizada para tentar compreender os fenômenos elétricos, e os estudantes se utilizam de argumentos semelhantes quando buscam explicar tal fenômeno.

Apesar de a ideia da partícula “elétron” não estar inserida no contexto sócio-histórico apresentado, as teorizações sobre a movimentação das cargas é um aspecto fundamental para o desenvolvimento dos estudos elétricos. Se hoje os estudantes em sua maioria consideram o fluxo de elétrons ou íons em um único sentido, no contexto de Faraday a busca era pela compreensão da movimentação das cargas na solução, como elas se direcionavam aos polos do aparelho eletroquímico e como contribuíram para a passagem da corrente elétrica. Alguns posicionamentos apontam para um mecanismo em linha reta entre os polos, como se as partículas eletrolisadas seguissem um caminho uniforme através da solução, aspecto que foi negado pelos estudos de Faraday e que é próximo ao posicionamento dos estudantes.

Para Fukui e Pacca (1999), a abordagem do tema eletricidade deve ser desenvolvida em conjunto com o tema estrutura da matéria, demonstrando de modo explícito a relação existente entre esses dois campos do saber, ao invés da ênfase superficial nos modelos atômicos ou na resolução de problemas matemáticos (cálculo de ddp, capacitância, corrente, etc.), os quais não revelam o real sentido dos conceitos. Isso porque, como discutem Caramel e Pacca (2004), a principal dificuldade para que os estudantes compreendam os conceitos de corrente elétrica reside nas concepções alternativas sobre eletricidade e comportamento microscópico das partículas da matéria.

As reações de oxirredução são importantes para compreender a corrente que flui em um circuito eletroquímico, Pacca e colaboradores (2003) e Caramel e Pacca (2011) argumentam que, apesar de a maioria dos estudantes atribuírem a origem da corrente às reações de oxirredução, não relacionam a movimentação das cargas na solução (íons) com a movimentação no material condutor (elétrons); eles focam na condução que ocorre em um dos circuitos (externo ou interno) e, para uma parcela, a corrente elétrica não se estabelece por meio de um circuito fechado, pois considera apenas a corrente elétrica ou iônica.

“Apesar de haverem conexões unindo todos os elementos num caminho fechado, não apreendem a função de condutor da eletricidade ao longo de todo um circuito fechado. Os diferentes elementos em cada ramo que sai da pilha conduzem partes atômicas em diferentes sentidos de percurso, um positivo e outro negativo” (PACCA et al., 2003, p.157).

Garnett e Treagust (1992a) ainda identificaram a noção de que os elétrons em movimento são sempre necessários para a corrente fluir, os estudantes em sua maioria acreditam que os elétrons devem completar, ou viajar, um caminho fechado ao redor da célula. Como justificativa eles inferem que os elétrons devem sair do ânodo e “viajar” através

do circuito externo para o cátodo, movendo-se do cátodo para o eletrólito, em sequência movendo-se através da solução e sendo liberados para o ânodo.

Os equívocos que têm significado particular para a operação de células eletroquímicas estão associados à noção de que os elétrons em movimento são sempre necessários para a corrente fluir. Alguns estudantes acreditavam que os elétrons devem completar, ou viajar, um caminho fechado ao redor da célula. Eles preveem elétrons que saem do ânodo e viajam através do circuito externo para o cátodo, movendo-se do cátodo para o eletrólito, movendo-se através da solução e sendo liberados para o ânodo (GARNETT; TREAGUST, 1992a, p.1087, tradução nossa).

Semelhante a essas dificuldades há a compreensão da relação entre a formação de novas espécies químicas pelo aparelho eletroquímico e a passagem da corrente elétrica, enquanto pesquisadores como Svant Arrhenius entendiam a dissociação como um processo natural e que não dependia da passagem da corrente elétrica (ARRHENIUS, 1912). Para Davy os efeitos elétricos ocorrem quando não há mudança química, ou seja, a decomposição formava espécies químicas com cargas distintas, a corrente de eletricidade seria o resultado da perturbação no equilíbrio elétrico da matéria (hoje chamamos de neutralidade elétrica), ou seja, adquirir cargas e propagar o efeito. Faraday teorizou que a eletricidade causava certas alterações na matéria e conferia polaridades às partículas que permitiriam a circulação da corrente e propôs uma classificação em condutores aquosos e não aquosos, pois, segundo ele, no primeiro haveria uma transformação na matéria e no segundo não, semelhante à dificuldade de compreensão dos estudantes para relacionar os aspectos microscópicos inerentes a materiais com carga e na matéria neutra.

Também foram identificadas concepções em que termos científicos como cátodo, ânodo, polo positivo e negativo eram aplicados fora do contexto científico aceito, sendo esse conjunto de concepções alternativas apresentado por Caramel e Pacca (2011). Em específico, a utilização equivocada desses termos é identificada quando os estudantes atribuem uma carga elétrica a cada semicélula e se esquecem da neutralidade elétrica da solução, condição essencial para o funcionamento da pilha e consequência da dissociação dos sais. Pacca e colaboradores (2003) identificaram o uso dos termos carga, força e energia como sinônimos de corrente, mas não apresentam características como fluir e ter uma direção comum e nem mesmo a “energia” é associada à natureza microscópica do material em que está presente (solução ou condutores).

“Os termos energia, carga, força e eletricidade são utilizados indistintamente, sem dar conta do processo nem apresentar características

essenciais de corrente elétrica, tais como: fluir, ter uma direção de percurso, ser constituída de cargas. Essa energia não é associada com a origem e a natureza microscópica do material onde está presente – a pilha ou os condutores” (PACCA et al., 2003, p.157).

Francisco Jr. e colaboradores (2005) ainda identificaram equívocos na utilização dos termos carga, íon e elétron; uma parcela dos estudantes os relacionaram com a condutividade, mas sem diferenciação entre os termos. Tal posicionamento revela que os estudantes desconhecem o significado cientificamente aceito de tais conceitos, pois a ideia de carga e elétron é intercambiável, na concepção dos estudantes, e, possivelmente, tem sua origem na abordagem dos livros didáticos, os quais enfatizam a corrente elétrica como fluxo de cargas e não expressam claramente quais são essas cargas.

[...] “embora alguns alunos (4,8%) tenham atribuído a condução de eletricidade à existência de íons ou elétrons, as respostas demonstram um desconhecimento acerca destes conceitos. Mais uma vez estas respostas mostram uma visão fragmentada dos conceitos, caracterizado pelo emprego equivocado dos termos químicos, onde as ideias de cargas e elétrons são sempre intercambiáveis, o que provoca confusões entre seus significados” (FRANCISCO JR et al., 2005, p.7).

Levando em consideração que o conhecimento científico é socialmente construído e que se constitui em uma linguagem única de compreender e interpretar os fenômenos da natureza (DRIVER et al., 1999; MOURA, 2008), é temerário que o ensino não possibilite a apresentação e compreensão dos parâmetros em que essa linguagem é construída. Os estudos sobre eletricidade apresentavam algumas contradições entre aqueles que os investigavam, e entre os fatores que contribuíram para esses aspectos estava a utilização de termos semelhantes em contextos diferentes. Por exemplo, em algumas situações, a utilização dos termos polo positivo e polo negativo era atribuída à produção de oxigênio e hidrogênio respectivamente, já em outras o sentido era o inverso. Outra situação que envolve o papel da utilização de termos e consequentemente de uma linguagem apropriada é a elaboração por Faraday de termos como cátodo, ânodo, íons, entre outros, para retratar e compreender fenômeno cujas situações eram específicas.

Como apontam Caramel e Pacca (2011) assim como Barke (2012), os estudantes tendem a explicar os fenômenos com base em sua percepção visual macroscópica, e, quando o professor se utiliza de expressões equivocadas, cria-se um conflito cognitivo nos estudantes, pois, geralmente, tais discursos contrariam algumas regras da ciência; um exemplo é o discurso que atribui a certas substâncias o sinal do eletrodo – “cobre é o eletrodo positivo” e

“zinco é o eletrodo negativo” – e, em sequência, explica que ocorre aumento/diminuição na sua massa. Ao atribuírem, respectivamente, uma característica teórica e outra visual à substância, os estudantes acreditam que ambas podem ser percebidas visualmente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Se um dos objetivos do ensino de ciências é a formação de cidadãos capazes de compreender os parâmetros da construção e consolidação do conhecimento científico e sua relação com a tecnologia presente em seu dia a dia, tal meta está relacionada à compreensão da Natureza da Ciência e à defesa de uma abordagem pautada na contextualização histórica. Ou seja, na compreensão da construção do conhecimento científico através da inserção de aspectos sócio-históricos que potencializam a compreensão da ciência enquanto construção humana e envolta em processos permeados por avanços, erros e conflitos, vislumbra-se esta que tem alcançado maior visibilidade com as discussões das últimas décadas.

Nesse contexto, as proposições oriundas da História e Filosofia da Ciência podem contribuir para os objetivos estabelecidos para o Ensino de Ciências. Acreditamos que os elementos oriundos da pesquisa podem contribuir para a proposição de abordagens inovadoras e vão ao encontro da necessidade exposta por Martins (2006), que destaca como um dos principais entraves à proposição de atividades pautadas na História e Filosofia da Ciência, a elaboração de materiais que tragam elementos mais contextualizados e filosoficamente embasados. Assim, esta dissertação constitui-se em uma fonte rica desses elementos.

Como considerações acerca do método utilizado para o desenvolvimento da pesquisa e dos resultados obtidos, gostaríamos de destacar inicialmente a potencialidade do método de busca por documentos proposto pelo referencial de Pesquisa Bibliográfica, pois permitiu reunir um conjunto significativo de artigos que corroborou para a composição de um *corpus* textual robusto e em consonância com os objetivos propostos, em virtude da definição prévia de parâmetros a serem seguidos (tema, fontes, idioma e cronologia). Considerando o tempo disponível para a realização da pesquisa, ter claro o que se almeja e onde buscar contribuiu para uma busca mais eficiente. Destacamos que não se trata de um processo rígido e linear, pois foram necessárias recorrentes redefinições dos parâmetros e descritores de busca até se alcançar um conjunto satisfatório de dados para a construção das categorias através da Análise de Conteúdo. Logo, ambos os métodos requerem um processo contínuo de idas e vindas na elaboração dos parâmetros de análise.

A construção das categorias e sua interpretação foi desenvolvida em consonância com os debates sobre a Abordagem Contextual e as Concepções Alternativas dos estudantes e retratam não só a dimensão teórica do conhecimento científico, mas também a sua dimensão social e, mesmo de forma tímida, aspectos epistemológicos inerentes à construção desse

campo do saber. É preciso ter clareza quanto aos parâmetros teóricos de análise e aos objetivos para que se construa uma discussão frutífera e bem fundamentada, um processo que envolve a triangulação entre os dados oriundos das pesquisas, dos referenciais teóricos e do posicionamento do investigador.

Não queremos aqui afirmar que os elementos apresentados nas categorias retratam todo o espectro contextual de Michael Faraday e seus constructos teóricos quanto à Natureza Elétrica da Matéria, uma vez que existem outros conjuntos de bancos de dados que podem contribuir para a construção de um panorama maior em detalhes quanto ao contexto sócio-histórico desse cientista. No entanto, as categorias por nós apresentadas e discutidas à luz de referencial teórico contêm elementos que permitem vislumbrar o quão rico e complexo é o desenvolvimento do conhecimento científico e como fatores internos e externos à Ciência tencionam o desenvolvimento desse campo do saber.

Os resultados apontam para a influência de elementos externos à ciência na construção dos constructos teóricos de Faraday – contexto social e religioso. Sua inserção na Royal Institution, uma das principais instituições de desenvolvimento da ciência da época, foi fator chave para o desenvolvimento das pesquisas de Faraday, e, aliado a esse fator, está a sua interação social com diversas outras figuras da comunidade científica através de um processo de discussão e interação, principalmente pela influência de figuras importantes, a título de exemplo citamos Humphry Davy.

Sua teoria eletroquímica foi fundamentada na relação entre matéria e eletricidade e contribuiu significativamente para avanços na área através da proposição de teorias e da elaboração de termos que auxiliaram na compreensão e descrição dos fenômenos eletroquímicos. Faraday buscou compreender os mecanismos pelos quais a condução ocorria, qual a diferença entre a condução em materiais sólidos e em soluções eletrolíticas, assim como por que alguns materiais eram condutores enquanto outros não. Também se destacou pelas proposições sobre a natureza e o comportamento dos eletrólitos e qual sua relação com a corrente elétrica, bem como pelos estudos que contribuíram para unificar as diversas concepções de eletricidade em um fenômeno único.

Seu estudo o levou a defender que a quantidade de matéria decomposta estava relacionada à quantidade de eletricidade utilizada, ou seja, a matéria teria uma natureza elétrica e independente dos polos do aparelho eletroquímico, os quais servem como “portas” de entrada e saída da corrente elétrica e são apenas condutores da eletricidade. Apesar de

algumas de suas superposições teóricas não serem aceitas hoje – como, por exemplo, a de que os íons são formados pela interação com a corrente elétrica em todas as partes da solução, pois se passou a considerar como concepção mais coerente, diante dos parâmetros científicos, a teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius –, os seus estudos foram significativos para os avanços nesse campo de pesquisa.

Os pressupostos da Abordagem Contextual pautada na História e Filosofia da Ciência que corroboram para a melhoria no ensino de Química, vão ao encontro das proposições que ratificam a necessidade de apresentar e possibilitar a compreensão dos parâmetros de estabelecimento do conhecimento científico, cabendo ao professor esse papel de mediador desse processo de modo que os estudantes compreendam a ciência enquanto uma dentre tantas outras formas de explicar o mundo, com sua linguagem própria e que pode coexistir com sua respectiva visão de mundo. Tal posicionamento é fruto das pesquisas que mostraram que os estudantes apresentam limitações quando são requeridos a explicar fenômenos em um contexto científico. É necessário considerar tais concepções alternativas, pois os estudantes não as abandonam ao serem inseridos no contexto científico das abordagens de sala de aula, assim a aprendizagem ocorre mediante o estabelecimento de relações entre esse último e os conhecimentos anteriores (EL-HANI e BIZZO, 2002; SILVA e AMARAL, 2016).

As ideias presentes nesse movimento são importantes segundo Matthews (2002), pois reconhece a inserção da História e Filosofia da Ciência como uma alternativa potencial no Ensino de Ciências, para a compreensão da Ciência e de seus produtos (teorias, leis, linguagem, etc.), bem como dos seus parâmetros de validade, que podem sofrer alterações ou até mesmo serem refutados para que outros mais amplos sejam inseridos no lugar.

Considerando que os indivíduos não chegam ao conhecimento de esquemas conceituais complexos da ciência por conta própria, ensinar um corpo de conhecimentos não envolve apenas ensinar os conceitos, mas também o método e algo da metodologia. Por isso, aprender ciência envolve ser iniciado na cultura científica, e a compreensão da Natureza da Ciência, através dos elementos oriundos da História e Filosofia da Ciência, constitui-se como uma ferramenta potencializadora dos anseios postos ao ensino de ciências (MATTHEWS, 2002). Partimos do pressuposto proposto por Matthews (1995; 2002), El-Hani e Bizzo (2002), Martíns (2006), que destacam que as concepções que os estudantes carregam consigo se aproximam, em certo nível, das apresentadas por cientistas do passado; logo, inserir o

estudante no contexto em que os modelos da Ciência foram elaborados, através da abordagem de aspectos Internalistas e Externalistas, pode contribuir para que o estudante tenha uma visão mais ampla da construção, da consolidação e dos campos de validade do conhecimento científico. Ao realizar uma Revisão de Literatura sobre as concepções alternativas sobre a natureza elétrica da matéria e compará-las com os elementos oriundos das categorias contextuais, foi possível realizar aproximações com os constructos teóricos do contexto sócio-histórico de Faraday. Estabelecido tal objetivo, apresentamos apenas as concepções que apresentavam aproximações, entretanto, a literatura apresenta concepções alternativas que não estão no escopo de discussão desta dissertação.

O levantamento das concepções dos estudantes sobre os temas estrutura da matéria e eletricidade demonstra que, ao final do processo de ensino-aprendizagem, os estudantes, em sua maioria, incorporam concepções alternativas ao conhecimento científico. Em específico, tais concepções concentram-se na relação entre estrutura da matéria e natureza dos íons, por um lado, e entre estrutura da matéria e condutibilidade elétrica dos materiais ou em meio aquoso, por outro. E demonstram que o ensino não tem contribuído para que essa relação seja bem compreendida pelos estudantes.

Destacadas as contribuições dos estudos de Faraday e partindo da hipótese de que os estudos sobre a Natureza Elétrica da Matéria já podem ser pensados a partir desse cientista, podemos considerá-la como uma hipótese válida diante dos dados analisados, pois o resultados expostos através das categorias contextuais permitem inferir sua contribuição para o desenvolvimento dos estudos eletroquímicos: estabelecimento da relação entre quantidade de matéria de composta e eletricidade utilizada; elaboração de termos que ampliaram a linguagem química e melhoraram o compartilhamento dos resultados experimentais; estudo do comportamento das substâncias químicas em meio aquosos e sua relação com a passagem da corrente elétrica; elaboração de modelo para o mecanismo de condutibilidade elétrica, unificação das teorias elétricas em um enunciado abrangente; entre outras contribuições. Elementos estes que podem ser introduzidos nas abordagens de sala de aula por meio de exemplos reais do funcionamento do empreendimento científico, que por sua vez se encontram ancorados na HC (MATTHEWS, 1995; SILVA e MOURA, 2008; ANJOS e JUSTI, 2015).

Podemos destacar a relevância deste trabalho para a Pesquisa em Ensino de Ciências, uma vez que apresenta resultados de uma pesquisa bibliográfica desenvolvida a partir de um

recorte histórico em torno dos estudos de Michael Faraday, apontando assim novas possibilidades de abordagem dos conteúdos sobre a matéria, a fim de torná-lo mais significativo para os estudantes e contribuir para um maior entendimento nas aulas de ciências. Logo, acreditamos que os relatos aqui expostos possam fornecer elementos que auxiliarão também no desenvolvimento dos conceitos relacionados à Natureza da Ciência, sendo possível ampliar e consolidar essas discussões tanto na Educação Superior como na educação básica, principalmente na abordagem da disciplina Química, tendo em vista as suas particularidades referentes aos aspectos eletroquímicos da matéria e inexistências dessas discussões durante a abordagem deste tópico.

REFERÊNCIAS

- ALLCHIN, D. Teaching the nature of science through scientific errors. **Science Education**, v. 96, n. 5, p. 904-926, 2012.
- _____. From science studies to scientific literacy: A view from the classroom. **Science & Education**, v. 23, n. 9, p. 1911-1932, 2014.
- _____. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 179-195, 2004.
- ANJOS, M. M. O.; JUSTI, R. Favorecendo a Discussão de Alguns Aspectos de Natureza da Ciência no Ensino Médio. **Revista Química Nova na Escola (Qnesc)**, v.37, n. Especial 1, p. 4-10, 2015.
- ARMSTRONG, E. V. Jane Marcet and her “Conversations on Chemistry”. **Journal of Chemical Education**, v.15, n.2, p.53, 1938.
- ARRHENIUS, S. ELECTROLYTIC DISSOCIATION. **Journal of the American Chemical Society**, v. 34, n. 4, p. 353-364, 1912.
- ARRUDA, S. M.; VILLANI, A. Mudança conceitual no ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 11, n. 2, p. 88-99, 1994.
- BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. Michael Faraday e A História Química de Uma Vela: um estudo de caso sobre a didática da ciência. **Química Nova na Escola**, v.30, p.16-23, 2008.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo (Edição revista e actualizada). **Lisboa: Edições**, v. 70, 1977.
- BARKE, H. D. Two ideas of the redox reaction: Misconceptions and their challenge in chemistry education. **African Journal of Chemical Education**, v. 2, n. 2, p. 32-50, 2012.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio): Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília (DF): MEC, 2000.

BRAGANÇA, M. H. **Concepções de Egressos da Licenciatura em Química sobre Eletroquímica**. Uberlândia, 2013, 227 f. Dissertação (Mestre em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

BUESO, A.; FURIÓ-MAS, C.; TEIXIDÓ, C. M. Interpretación de las reacciones de oxidación-reducción por los estudiantes. Primeros resultados. **Enseñanza de Las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 6, n. 3, p. 244-250, 1988.

CANTOR, G. Michael Faraday's religion and its relation to his science. **Endeavour**, v. 22, n. 3, p. 121-124, 1998.

CARAMEL, N J.C.; PACCA, J. L. A. Concepções Alternativas em Eletroquímica e Circulação da Corrente Elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.1, p.7-26, 2011.

DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. Construindo Conhecimento Científico na Sala de Aula. **Química Nova na Escola**, v.9, p.31-40, 1999.

DUARTE, M. C. A História da Ciência na Prática de Professores Portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência & Educação**, v.10, n.3, p.317-331, 2004.

DUNCAN, A. M. Particles and eighteenth century concepts of chemical combination. **The British Journal for the History of Science**, v. 21, n. 4, p. 447-453, 1988.

ERDURAN, S. Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. **Science & Education**, v. 10, n. 6, p. 581-593, 2001.

EL-HANI, C. N.; BIZZO, N. M. V. Formas de construtivismo: mudança conceitual e construtivismo contextual. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 1, 2002.

FARADAY, M. Experimental researches in electricity. third series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 123, p. 23-54, 1833a.

_____. Experimental researches in electricity. fourth series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 123, p. 507-522, 1833b.

_____. Experimental researches in electricity. fifth series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 123, p. 675-710, 1833c.

_____. Experimental researches in electricity. Seventh series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 124, p. 77-122, 1834a.

_____. Experimental researches in electricity. eighth series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 124, p. 425-470, 1834b.

_____. Experimental Researches in Electricity. Sixteenth Series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 130, p. 61-91, 1840a.

_____. Experimental researches in electricity. seventeenth series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 130, p. 93-127, 1840b.

_____. On the chemical and contact theories of the voltaic battery. **Philosophical Magazine Series 3**, v. 22, n. 147, p. 477-480, 1843.

_____. Thoughts on ray-vibrations. **Philosophical Magazine Series 3**, v. 28, n. 188, p. 345-350, 1846.

_____. On electric conduction. **Philosophical Magazine Series 4**, v. 10, n. 64, p. 98-107, 1855.

_____. An answer to Dr. Hare's letter on certain theoretical opinions. **Philosophical Magazine Series 3**, v. 17, n. 107, p. 54-65, 1840c.

_____. A speculation touching electric conduction and the nature of matter. **Philosophical Magazine Series 3**, v. 24, n. 157, p. 136-144, 1844.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

FRANÇA, A. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. Estrutura atômica e formação dos íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, p. 275-282, 2009.

FUKUI, A.; PACCA, J. L. A. Modelo atômico e corrente elétrica na concepção dos estudantes. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2., 1999, Valinhos. **Anais eletrônicos ...** Valinhos: 1999.

_____. **Átomo e Corrente Elétrica:** imagens, imaginações e devaneios em sala de aula. São Paulo, 2002, 109 f. Dissertação (Mestre em Ensino de Ciências – Modalidade Física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2002.

GARNETT, P. J.; TREAGUST, D. F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 10, p. 1079-1099, 1992a.

_____.; TREAGUST, D. F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 2, p. 121-142, 1992b.

ROGERS, F.; HUDDLE, P. A.; WHITE, M. D. Using a teaching model to correct known misconceptions in electrochemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 77, n. 1, p. 104, 2000.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GOODING, D. Conceptual and experimental bases of Faraday's denial of electrostatic action at a distance. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 9, n. 2, p. 117-149, 1978.

HAMZA, K. M.; WICKMAN, P. O. Describing and analyzing learning in action: An empirical study of the importance of misconceptions in learning science. **Science Education**, v. 92, n. 1, p. 141-164, 2008.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. **Science education**, v. 80, n. 5, p. 509-534, 1996.

_____.; TREAGUST, D. F. Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. **Science Education**, v. 84, n. 3, p. 352-381, 2000.

HEIMANN, P. M. Faraday's theories of matter and electricity. **The British Journal for the History of Science**, v. 5, n. 3, p. 235-257, 1971.

JAMES, Frank A. J. L. The military context of chemistry: the case of Michael Faraday. **Bulletin for the History of Chemistry**, v. 11, p. 36-40, 1991.

KAVALEK, D. S. et al. Filosofia e História da Química para educadores em Química. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 12, p. 1-13, 2015.

KNIGHT, D. M. The Atomic Theory and the Elements. **Studies in Romanticism**, p.185-207, 1966.

LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos Metodológicos na Construção do Conhecimento Científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katál**, v.10, n.1, p.37-45, 2007.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. Pluralismo metodológico no ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, p. 247-260, 2003.

LEDERMAN, N. G.; ANTINK, A.; BARTOS, S. Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry. **Science & Education**, v. 23, n. 2, p. 285-302, 2014.

LEVERE, T. H. Faraday, matter, and natural theology—reflections on an unpublished manuscript. **The British Journal for the History of Science**, v. 4, n. 2, p. 95-107, 1968.

LIMA, V. A. **Atividades Experimentais no Ensino Médio**: reflexão de um grupo de professores a partir do tema eletroquímica. São Paulo, 2004, 197 f. Dissertação (Mestre em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino e Ciências – Modalidade Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LOCATELLI, S. W. **Relação Existente entre Metavisualização e as Representações Simbólica e Submicro na Elaboração de Atividade em Química**. São Paulo, 2016, 311 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MCINTYRE, L. The emergence of the philosophy of chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 1, n. 1, p. 57-63, 1999.

MARTINS, L. A.C. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação (Bauru)**, v.11, n.2, 2005.

MARTINS, R. A. A História das Ciências e seus Usos na Educação. In: SILVA, C. C. (Org.). **História e Filosofia da Ciência**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.12, n.3, p.164-214, 1995.

_____. Constructivism and science education: A further appraisal. **Journal of Science Education and Technology**, v. 11, n. 2, p. 121-134, 2002.

MCCABE, I. M.; THOMAS, J. M. The bicentenary of the birth of Michael Faraday of the Royal Institution of Great Britain. **Endeavour**, v. 15, n. 3, p. 133-140, 1991.

MORTIMER, E. F. et al. Concepções atomistas dos estudantes. **Química Nova na Escola**, v. 1, n. 1, 1995.

MOURA, B. A. O que é a Natureza da Ciência e qual sua Relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p.32-46, 2014.

NARASIMHAN, M. G. Controversy in Science. **Journal of biosciences**, v.26, n.3, p. 299-304, 2001.

NARDI, R.; GATTI, S. R. T. Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 6, n. 2, 2004.

NIAZ, M. Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 4, p. 425-439, 2002.

_____.; CHACÓN, E. A conceptual change teaching strategy to facilitate high school students' understanding of electrochemistry. **Journal of Science Education and Technology**, v. 12, n. 2, p. 129-134, 2003.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. História da ciência e ensino de física: uma análise meta-historiográfica. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino/Luiz OQ Peduzzi, André Ferrer P. Martins e Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira (Org)**. Natal: EDUFRN, 2012.

OKI, M. C. M. A eletricidade e a Química. **Química Nova na Escola**, v.2, n.12, p.34-37, 2000.

_____.; MORADILLO, E. F. O Ensino de História da Química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação**, v.14, n.1, p.67-88, 2008.

OGUDE, A. N.; BRADLEY, J. D. Ionic conduction and electrical neutrality in operating electrochemical cells: Pre-college and college student interpretations. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 1, p. 29, 1994.

ÖZKAYA, A. R. Conceptual difficulties experienced by prospective teachers in electrochemistry: Half-cell potential, cell potential, and chemical and electrochemical equilibrium in galvanic cells. **Journal of Chemical Education**, v. 79, n. 6, p. 735, 2002.

PACCA, J. L. A. et al. Corrente Elétrica e Circuito Elétrico: algumas concepções do senso comum. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.20, n.2, p.149-165, agosto, 2003.

POSADA, M. J. Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la material en el estado sólido. **Enseñanza de Las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 11, n. 1, p. 12-19, 1993.

_____. Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. **Science Education**, v. 81, n. 4, p. 445-467, 1997.

REIS, N. A. **Abordagem Contextual no Âmbito do Processo Formativo do PIBID**. São Cristóvão, 2017, 142 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

RIBEIRO, M. A. P. Proposição de perspectivas filosóficas da educação química. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013, Águas de Lindóia, **Anais eletrônicos ...** Águas de Lindóia, 2013.

_____. **Integração da Filosofia da Química no Currículo de Formação Inicial de Professores**: contributos para uma filosofia do ensino. Lisboa, 2014, 390 f. Tese (Doutorado em Educação) – Instituto de Educação, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.

ROSENTHAL, D. P.; SANGER, M. J. Student misinterpretations and misconceptions based on their explanations of two computer animations of varying complexity depicting the same

oxidation–reduction reaction. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, n. 4, p. 471-483, 2012.

RUSSEL, C. A. The electrochemical theory of Sir Humphry Davy: Part I: The voltaic pile and electrolysis. **Annals of Science**, v.15, n.1, p.1-13, 1959.

SÁ-SILVA, J. R.; ALMEIDA, C. D.; GUINDANI, J. F. Pesquisa Documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, v.1, n.1, p.1-15, 2009.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. **Identifying, Attributing, and Dispelling Student Misconceptions in Electrochemistry**, p. 38, 1997a.

_____.; GREENBOWE, T. J. Students' misconceptions in electrochemistry regarding current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 7, p. 819, 1997b.

_____.; GREENBOWE, T. J. Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 5, p. 521-537, 2000.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. A Natureza da Ciência por meio do Estudo de Episódios Históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.30, n.1, p.1602, 2008.

SILVA, J. R. R. T.; AMARAL, E. M. R. Concepções sobre Substância: relações entre contextos de origem e possíveis atribuições de sentidos. **Química Nova na Escola**, v.38, n.1, p.70-78, 2016.

SCERRI, E. R. The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 2, n. 2, p. 165-170, 2001.

SCHUMMER, J. The philosophy of chemistry. **Endeavour**, v. 27, n. 1, p. 37-41, 2003.

SCHNETZLER, R. P.; ROSA, M. I. F. P. Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, v. 8, p. 31, 1998.

SCHMIDT, H. J.; MAROHN, A.; HARRISON, A. G. Factors that prevent learning in electrochemistry. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 44, n. 2, p. 258-283, 2007.

STOCK, J. T. The Pathway to the Laws of Electrolysis. **Bulletin for the History of Chemistry**, v. 11, p. 86-92, 1991.

TEIXEIRA JR, J. G.; SILVA, R. M. G. Investigando a Temática sobre Condutividade Elétrica na Formação Inicial Docente. In: Encontro Nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências, 8., 2011, Campinas. **Anais eletrônicos ...** Campinas: 2011.

VOSGERAU, D. S. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Revista Diálogo Educacional**, v. 14, n. 41, 2014.